

**ZESZYTY  
NAUKOWE  
POLITECHNIKI  
ŚLĄSKIEJ**

**MIROSLAW CHUDEK  
STANISLAW JANICZEK  
RYSZARD MAJCHRZAK  
JAN BORYCZKO**

**ZAGADNIENIE OCENY STANU TECHNICZNEGO  
CZYNNYCH SZYBÓW GÓRNICZYCH  
ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ**

**GÓRNICTWO**

**Z. 111  
GLIWICE  
1981**

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**

**ZESZYTY NAUKOWE**

**Nr 688**

**Mirosław CHUDEK**

**Stanisław JANICZEK**

**Ryszard MAJCHRZAK**

**Jan BORYCZKO**

**ZAGADNIENIE OCENY STANU  
TECHNICZNEGO CZYNNYCH  
SZYBÓW GÓRNICZYCH  
ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ**

**GLIWICE**

**1981**

OPINIODAWCA

*Prof. dr hab. inż. Stanisław Takuski*

KOLEGIUM REDAKCYJNE

*Jan Bandrowski* (redaktor naczelny), *Miroslaw Chudek* (redaktor działu),  
*Wojciech Mikołajków* (sekretarz redakcji)

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

*Eugenia Mandrak*

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej  
ul. Kujawska 2, 44-100 Gliwice

---

Nakł. 200+55 Ark. wyd. 4,03 Ark. druk. 5,5 Papier powielacz. kl. V. 70x100, 70g  
Oddano do druku 27.02.1981 Podpis do druku 20.07.1981 Druk ukończ. w listop. 1981  
Zam 335/81 J-23 Cena zł 11,-

---

Skład, fotokopie, druk i oprawę  
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

## SPIS TREŚCI

	Str.
1. WPROWADZENIE .....	5
2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA STAN TECHNICZNY OBUDÓW SZYBOWYCH .....	6
2.1. Warunki hydrogeologiczne .....	6
2.2. Korozyjne działanie środowiska wodnego .....	7
2.3. Wpływ eksploatacji .....	8
2.4. Wpływ drgań wywołanych ruchem maczyń wydobywczych .....	9
2.5. Rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy .....	10
3. METODY BADAŃ SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH .....	11
3.1. Metody niszczące .....	11
3.2. Metody nieniszczące .....	11
3.2.1. Metody sklerometryczne .....	11
3.2.2. Metody izotopowe .....	14
3.2.3. Metody ultradźwiękowe .....	14
3.2.3.1. Zastosowanie metody "V" do badania górniczych obudów murowych .....	18
3.2.3.2. Zasady stosowania metody "V" .....	25
3.2.3.3. Metoda propagacji pośredniej .....	26
3.2.3.4. Zasady stosowania metody propagacji pośredniej .....	29
3.2.3.5. Określenie krzywych skalowania .....	30
4. ZASTOSOWANIE ULTRADŹWIEKOWEJ METODY PROPAGACJI POŚREDNIEJ, DO POMIARÓW DORAŻNEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH .....	50
4.1. Elektroniczna aparatura ultradźwiękowa do nieniszczących pomiarów wytrzymałości obudowy w warunkach budownictwa szybowego .....	50
4.2. Metodyka prowadzenia pomiarów wytrzymałości obudów szybowych .....	53
4.3. Interpretacja wyników pomiarów dorażnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych .....	54
4.4. Sprawdzenie stateczności obudowy szybu .....	62
4.5. Analiza wyników pomiarów wytrzymałości górniczych obudów szybowych w rejonie GOP .....	63

5. SPOSOBY POPRAWY STATECZNOŚCI OBUDÓW SZYBOWYCH .....	69
5.1. Rekonstrukcja obmurza .....	69
5.1.1. Rekonstrukcja obudowy murowej ceglanej .....	69
5.1.1.1. Hydrofobizacja cegieł .....	69
5.1.1.2. Zwiększenie wytrzymałości i odporności korozyjnej zapraw cementowych .....	70
5.1.2. Rekonstrukcja obudowy betonowej .....	71
5.1.3. Zabezpieczenie powierzchni obudowy .....	72
5.2. Dodatkowe wzmocnienie rury szybowej .....	73
5.2.1. Kotwienie obudowy .....	73
5.2.2. Wykonanie dodatkowej powłoki siatko-betonowej .....	75
5.3. Wypełnienie pustek między obudową szybu w górnej części .....	78
5.4. Wykorzystanie przedstawionych zabezpieczeń obudów w szybach na terenie GOP-u .....	80



## 1. WPROWADZENIE

Specjalne wymagania stawiane górnictwom obudowom murowym i prefabrykowanym, pracującym w trudnych warunkach hydrogeologicznych lub narażonych na duże ciśnienia, są jedną z przyczyn wskazujących na konieczność bardzo dokładnej kontroli technicznej tych elementów. Obudowy murowe stosowane w wyrobiskach udostępniających [2] powinny charakteryzować się wysoką wytrzymałością.

Obudowy narażone na działanie wysokich ciśnień i wpływ trudnych warunków hydrogeologicznych muszą zapewnić, w odpowiednio długim okresie czasu, stateczność wyrobiska przy zmiennych ciśnieniach stałych i dynamicznych oraz gwarantować bezpieczną pracę ludzi i sprzętu. W okresie eksploatacji obudów murowych obserwowane są zmiany takich parametrów technicznych, jak: wytrzymałość, grubość, wodoszczelność obudowy. Zmiany te są związane ze specyfiką środowiska górniczego, które charakteryzuje się: korozyjnym działaniem, deformacjami związanymi z eksploatacją itp. Obudowa murowa wykonana jest w zasadzie jako obudowa sztywne, nadająca się do pracy w górotworze nienaruszonym eksploatacją górnictwem lub w górotworze odprężonym. Wielokrotnie prowadzona jednak jest eksploatacja w filarze ochronnym szybu, występujące wtedy zmienne ciśnienia powodują uszkodzenie obudowy i duże trudności w jej utrzymaniu [18]. W wyniku działania tych czynników na obudowę szybu dochodzi do pogorszenia się parametrów technicznych obudów, a głównie do obniżenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie, co może doprowadzić do utraty stateczności.

Względy bezpieczeństwa dyktują konieczność znajomości rozkładu doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudów szybowych, w różnych okresach ich eksploatacji.

Pozwala to na wykrycie i zlokalizowanie stref obudowy, zagrożonych utratą stateczności, umożliwiając w ten sposób odpowiednie wczesne rozpoczęcie prac profilaktycznych w szybie.

## 2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA STAN TECHNICZNY OBUDÓW SZYBOWYCH

W okresie eksploatacji obudów murowych i betonowych obserwowane są takie zmiany parametrów technicznych, jak: obniżenie wytrzymałości, zmniejszenie grubości i wodoszczelności obudowy. Zmiany te są związane ze specyfiką środowiska górniczego, które charakteryzuje się:

- zawodnieniem często w połączeniu z hydrostatycznym ciśnieniem wody na obudowę,
- korozyjnym oddziaływaniem wody w stosunku do materiału obudowy,
- wpływami eksploatacji górniczej wywołującej ciśnienia dynamiczne,
- zmianą stosunków hydrogeologicznych, prowadzących do nierównomiernego obciążenia obudowy,
- wstrząsami górotworu spowodowanymi tąpnięciami,
- przenoszeniem na obudowę drgań pochodzących z pracujących urządzeń mechanicznych, stanowiących wyposażenie szybu, np. ruch naczyń wydobywczych.

Zmienia się również niekorzystnie układ obciążenia obudowy ze strony górotworu na skutek wypłukiwania skał przez wodę, co prowadzi do powstania pustek za obudową. Występowanie pustek za obudową powoduje jej nierównomierne obciążenie.

Zmiany wymienionych parametrów technicznych obudów szybowych wywołane są zatem głównie wpływem takich czynników, jak:

- warunki hydrogeologiczne,
- korozyjne działanie środowiska wodnego,
- wpływ eksploatacji,
- wpływ drgań wywołanych ruchem naczyń wydobywczych,
- rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy.

### 2.1. Warunki hydrogeologiczne

Układ warunków hydrogeologicznych w rejonie obudowy ma decydujący wpływ na jej stan techniczny. Z obecnością wody w warunkach górotworu, będących w kontakcie z obudową, związane jest występowanie ciśnienia hydrostatycznego i jej migracja przez materiał obudowy. Migrująca przez obudowę woda niszczy jej strukturę poprzez mechaniczne wynywanie cząstek materiału, połączone najczęściej z działaniem korozyjnym. Znany jest fakt zmniejszenia wytrzymałości typowych materiałów stosowanych w obudowie szy-

bowej (cegła, zaprawa cementowa, beton) na skutek wzrostu ich zawilgoce-  
nia. Szczególne znaczenie dla stateczności obudów szybowych mają własno-  
ści litoologiczne warstw występujących w ich rejonie. Zawadnione luźne war-  
stwy górotworu typu piaski lub kurzawki, nawet przy niewielkich deforma-  
cjach rury szybowej, mogą stwarzać duże zagrożenie dla kopalni. Przez pow-  
stałe w obudowie szczeliny może się dostać do szybu woda lub kurzawka,  
stwarzając podwójne niebezpieczeństwo polegające na zalaniu szybu i wyro-  
bisk a także uszkodzeniem rury i wieży szybowej w wyniku deformacji obu-  
dowy i warstw górotworu.

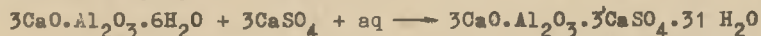
Wypadki takie miały już miejsce w kopalniach na terenie GOP, np.: zni-  
szczenie szybu w KWK "Bobrek" w Bytomiu oraz KWK "Pstrowski" w Zabrze. Wy-  
stępowanie wody w szczelinowatych skałach zwięzłych (np. piaskowcach kar-  
bońskich) stwarza mniejsze zagrożenie dla stateczności obudowy, związane  
jest jednak z lokalnym jej niszczeniem w wyniku migracji wody przez obmu-  
rze.

Często obserwuje się w szybach niszczenie powierzchniowej warstwy obu-  
dowy, będące efektem działania wody spływającej po obmurzu. Niszczenie to  
jest szczególnie widoczne w szybach wdechowych, gdzie w okresach zimowych  
występuje zjawisko zamarzania wody w porach i kapilarach materiału obudo-  
wy. W efekcie następuje zmniejszenie grubości obudowy.

## 2.2. Korozyjne działanie środowiska wodnego

Obniżenie parametrów wytrzymałościowych obudowy szybu pracującego w wa-  
runkach zawodnionego górotworu wynika między innymi z procesu korozyjnego  
działania środowiska wodnego. Obudowa betonowa, betonitowa oraz zaprawa  
cementowa obudowy ceglanej mogą być poddane agresji siarczanowej, kwaso-  
węglowej, ogólnokwasowej, żugującej i magnezowej. Jak wykazują badania,  
np.: [18], [19], [20] w warunkach budownictwa szybowego na terenie Górno-  
śląskiego Zagłębia Węglowego, decydujące znaczenie przedstawia agresja  
siarczanowa spowodowana dużą zawartością jonów  $SO_4^{2-}$ , występujących w wo-  
dach dopływających do szybu. W procesie tej agresji następuje reakcja  
siarczanu wapnia ( $CaSO_4$ ) zawartego w wodzie z jednym ze składników betonu,  
tj. glinianem trójwapniowym ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ).

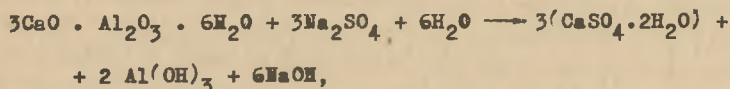
Schemat reakcji jest następujący:



W wyniku tej reakcji powstaje związek o dużej objętości, tzw. etryngit,  
tj. siarczanoglinian trójwapniowy. Proces krystalizacji tej soli w porach  
i kapilarach betonu lub zaprawy powoduje znaczne naprężenia, prowadzące  
do spęcznienia, a w końcu do ich rozkruszenia.

Również inne sole kwasu siarkowego (np.  $MgSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ) mogą reagować  
ze związkami występującymi w betonie, np.: wodorotlenkiem wapnia  $Ca(OH)_2$   
lub glinianem trójwapniowym  $3CaO \cdot Al_2O_3$  wg reakcji:

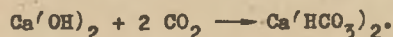
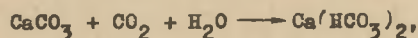




efektem korozji jest powstawanie soli rozpuszczalnej w wodzie.

W przypadkach szczególnie niekorzystnych, gdy stężenie jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  wynosi około 1000 mg/l, a czas eksploatacji szybu około 40 lat, ubytki obudowy betonowej mogą dochodzić do 30 cm na powierzchniach liczonych w dziesiątki metrów kwadratowych. Występuje jednocześnie znacznie obniżenie wytrzymałości betonu [19].

Sporadycznie występuje również korozja kwasowęglowa polegająca na korozyjnym działaniu na beton obecnego w wodzie agresywnego dwutlenku węgla  $\text{CO}_2$ , np.:



W tym przypadku powstaje wodorowęglan wapnia, który należy do związków rozpuszczalnych w wodzie.

Mechanizm korozji cegły związany jest z jej łuszczeniem się pod wpływem zmiennego cyklu zamarzania i rozmrażania wody w jej porach i kapilarach. Grubość złuszczonej warstwy obudowy ceglanej uzależniona jest od: stopnia zawodnienia szybu, zanieczyszczenia powierzchni obudowy pyłem węglowym, nasiąkliwości cegły oraz czasu eksploatacji.

W szybach z obudową ceglana obserwuje się złuszczenie obudowy, którego grubość dochodzi do 10-20 cm, np.: [19], [20].

Praktyka i badania wykazują, że obniżenie parametrów technicznych obudowy szybu pod wpływem czynnika korozyjnego występuje głównie w wyrobiskach o długim okresie eksploatacji. Wynika stąd konieczność szczególnej dbałości o stan techniczny rury szybowej.

### 2.3. Wpływ eksploatacji

Znajomość wielkości wpływu eksploatacji, prowadzonej na zewnątrz filarów ochronnych, na obiekty chronione filarami ma bardzo duże znaczenie dla ochrony obiektów tak w górotworze, jak i na powierzchni, a także w aspekcie racjonalnej gospodarki złożem. Wpływ eksploatacji pozafilarewej na obiekty można najdokładniej określić w oparciu o pomiary geodezyjne,

które są najbardziej wiarygodnym i obiektywnym potwierdzeniem rzeczywistego wpływu eksploatacji na te obiekty.

Na podstawie wielu wyników obserwacji geodezyjnych można stwierdzić, że filary ochronne dla szybów przy intensywnej eksploatacji prowadzonej na zewnątrz filarów, względnie przy zbyt małych filarach, nie chronią skuteczności szybów. W niektórych przypadkach utrzymanie filarów ochronnych, zwłaszcza o małych wymiarach, może być przyczyną występowania nawet większych uszkodzeń, niż przy pełnym wybieraniu złoże w filarsie ochronny. Znane są przypadki w polskim górnictwie, że w ciągu kilku lat zrąb szybu obniżył się o kilkanaście do kilkadziesiąt centymetrów, a przy znaczącym naruszeniu filara osiadania przekroczyły 1,0 m i szyby uległy znacznym deformacjom.

Eksploatacja zewnętrzna, powodując w szybach występowanie pionowych odkształceń ściskających czy też poziomych odkształceń rozciągających, może być przyczyną znacznego odchylenia szybu od linii pionowej, a także przyczyną skrzywienia i pęknięcia rury szybowej. Odkształcenia pionowe ściskające powodują łuszczenie obudowy szybowej, co przy zespole innych ujemnych czynników, jak np. zawadzenie szybu oraz zmiany temperatury, stwarza bardzo niekorzystną sytuację w szybie. Jednostroinnie prowadzona eksploatacja zewnętrznie powoduje duże przesunięcia poziome górotworu, a wraz z nim i szybu. W wyniku tych przesunięć szyby ulegają znaczącemu wychyleniu z pionu. Znane są przypadki w Polsce i w ZSRR, że wychylenie szybu z pionu wynosi od 1 do 3 m.

Cenne są tutaj badania prowadzone w Związku Radzieckim, gdzie przebadano wiele szybów i stwierdzono występowanie znacznych wychyleń oraz uszkodzeń obudowy na dużej przestrzeni w górotworze, przy prowadzeniu eksploatacji na zewnątrz filara. Zjawisko to występowało szczególnie przy pokładach nachylenych.

#### 2.4. Wpływ drgań wywołanych ruchem naczyń wydobywczych

Konieczność stosowania w szybach wydobywczych naczyń wyciągowych o znacznych udźwigach, dochodzących do 300 kN i poruszających się z dużymi prędkościami do 20 m/s [10], powoduje drgania układu sprężystego dźwigara - prowadnika, którego energia zostaje przekazana na obudowę szybu. O ile energia tych drgań i czasokres ich trwania są dostatecznie duże, istnieje możliwość niszczenia struktury obudowy przez punktowe i przemienne działające w obudowie obciążenie w rejonie dźwigarów. Zjawisko to, aczkolwiek istotne z punktu widzenia stanu technicznego obudowy, nie zostało dotychczas w sposób dostateczny opracowane naukowo.

## 2.5. Rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy

W fazie projektowania obudowy szybu należy uwzględnić warunki hydrogeologiczne i górnicze występujące w rejonie szybu i odpowiednio do istniejących zagrożeń, np. rodzaju i stopnia agresywności środowiska czy przewidywanych wpływów eksploatacji, zaprojektować obudowę szybu. Zastosowany materiał na obudowę powinien być odporny na występującą agresywność wód, a konstrukcja obudowy tak zaprojektowana, że będzie ona odporna na przewidywane wpływy eksploatacji. W tym celu należy wykorzystać dotychczasowy dorobek naukowy w zakresie konstrukcji obudów odpornych na wpływy eksploatacji. Prawidłowy sposób wykonania obudowy, przestrzeganie procesu technologicznego oraz receptur stosowanego betonu gwarantują, że wyrobisko będzie spełniało swoje funkcje w założonym okresie eksploatacji.

### 3. METODY BADAŃ SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH

W praktyce budownictwa podziemnego istnieje konieczność określania do-  
rażnej wytrzymałości na ściskanie obudów wyrobisk górniczych zarówno w  
stadium wykonawstwa obudowy, jak i w trakcie wieloletniej ich eksploata-  
cji.

#### 3.1. Metody niszczące

Dotychczas, dla zapewnienia zgodności wytrzymałości wykonanej obudowy  
z wytrzymałością projektowaną, w cyklu wykonawstwa obudów betonowych sto-  
suje się badania kontrolne próbek każdej partii betonu. W praktyce, wskna-  
tek segregacji betonu w czasie transportu rurociągami, zmian konsystencji  
betonu oraz agresywnego działania środowiska wodnego, mogą występować roz-  
bieżności pomiędzy wytrzymałością określoną na próbkach, a wytrzymałością  
wykonanej obudowy. Dla określenia wytrzymałości wykonanych obudów muro-  
wych wyrobisk stosowane jest pobieranie próbek z istniejących obudów.  
Próbki pobiera się poprzez wykucie w obudowie murowej bryły o takich gaba-  
rytach, aby można było uzyskać z niej sześciian o wymiarach około 16 x 16 x  
16 cm [4]. Tak przygotowane próbki poddawane są badaniom wytrzymałości-  
wym. Stosując tę tradycyjną metodę określania wytrzymałości doprowadzamy  
więc do naruszenia struktury obudowy i dlatego stosowanie jej w przypad-  
kach trudnych warunków hydrogeologicznych jest niejednokrotnie niemożliwe.

Jak widać, tradycyjne niszczące metody badania wytrzymałości obudów mu-  
rowych wykazują wady, posiadają ograniczony zakres stosowania tylko do  
tych odcinków obudowy, gdzie nie występuje zagrożenie wodne.

#### 3.2. Metody nieniszczące

Instytucje naukowo-badawcze kierują swoje zainteresowanie w stronę nie-  
niszczących metod badania wytrzymałości materiałów stwarzających przesłanki  
opracowania optymalnych metod badania szybowych obudów murowych.

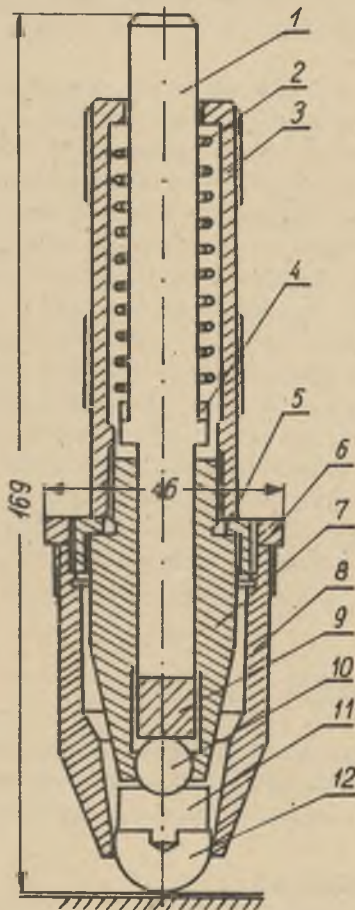
##### 3.2.1. Metody sklerometryczne

Szeroko stosowaną metodą sprawdzania jakości betonu są badania sklero-  
metryczne - są to badania nieniszczące - których istotą jest próba na  
twardość.



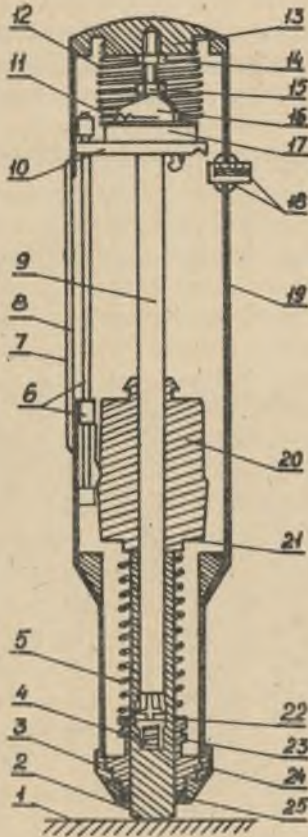
Przyjmując definicję Osmonda, że twardość jest to odporność materiału na odkształcenia spowodowane siłami skupionymi, różni się poszczególne metody pomiarowe w zależności od sposobu wywołania nacisku oraz od przyjętej miary odporności. Pomiar dzieli się na statyczne i dynamiczne. Różni się metody pomiaru odkształceń trwałych (ślady zagłębień) oraz metody określania reakcji sprężystej materiału (wielkość odskoku). Do metod sklerometrycznych zalicza się również metody, które do oceny odporności betonu na oddziaływanie sił skupionych zamiast próby na twardość wykorzystują odpowiednio lokalne próby na ścinanie, rozciąganie lub skręcanie.

Do pomiarów sklerometrycznych stosowane są niżej wymienione przyrządy:  
- ulepszony przez Waitzmana młotek Poldiego, w którym zastosowana jest kulka o średnicy 10 mm i wierzcowa płytka stalowa (rys. 1),



Rys. 1. Przekrój podłużny ulepszanego młotka Poldiego

- 1 - trzpień główny, 2 - sprężyna, 3 - obudowa przyrządu, 4 - podkładka,
- 5 i 6 - pierścienie mocujące dodatkową nasadkę, 7 - obudowa kulki  $\phi$  10 mm,
- 8 - dodatkowa nasadka, 9 - sztabka wierzcowa, 10 - kulka  $\phi$  10 mm, 11 - płytka centrująca, 12 - wgłębnik dodatkowy 20 mm



Rys. 2. Przekrój podłużny młotka Schmidta

- 1 - powierzchnia badanego betonu, 2 - trzpień uderzeniowy, 3 - przykrywa przednia, 4 - sprężynka amortyzująca, 5 - sprężyna uderzeniowa, 6 - wskaźnik liczby odbicia L, 7 - szkiełko ochronne wskaźnika, 8 - skala, 9 - prowadnica, 10 - talerz wędzący, 11 - sprężynka spustu, 12 - sprężynka dociskowa, 13 - przykrywa tylna, 14 - przeciwaokrętka, śruby regulacyjnej, 16 - spust, 17 - sworznieł spustowy, 18 - przycisk, 19 - obudowa młotka, 20 - masa uderzeniowa, 21-22 - zaczepy sprężyny uderzeniowej, 23 - tuleja, 24 - pierścien, 25 - uszczelka z filcu

- młotek HPS, produkcji WRD z kulka o średnicy 10 mm, samosprężającym się układem uderzeniowym. Ślady odcisku mierzy się lupa o 10-krotnym powiększeniu, zaopatrzoną w podziałkę.

Wytrzymałość betonu  $R_0$  na podstawie średnicy odcisku L określa się z ustalonej eksperymentalnie dla danego betonu zależności funkcyjnej. Oddzielną grupę przyrządów, które charakteryzują dynamiczną twardość betonu, są uderzowe młotki wahadłowe lub sprężynowe. Zasada pomiaru polega

na określenie wielkości odsieku ciężaru po uderzeniu w beton i określeniu wytrzymałości betonu  $R_c$  z ustalonej eksperymentalnie dla danego betonu zależności funkcyjnej. Najszersze zastosowanie znalazł młotek Schmidta (rys. 2).

Badania sklerometryczne posiadają jedną zasadniczą wadę. Dokonywane pomiary określają wytrzymałość warstwy powierzchniowej konstrukcji betonowej, która zawsze w dość istotny sposób różni się od wytrzymałości warstw głębszych. Wytrzymałość określona metodami sklerometrycznymi może być obciążona błędem  $\pm 20-30\%$ .

### 3.2.2. Metody izotopowe

Zastosowanie metod izotopowych do badania obudów wyrobisk górniczych omawia praca M. Chudka [2]. Autor w pracy [2] podaje metodę przepustową i powierzchniową pomiaru ciężaru objętościowego obudowy, wykorzystując proporcjonalność absorpcji promieniowania dosorbowanego przez materiał obudowy, a jej ciężarem objętościowym.

Metoda powierzchniowa pomiaru ciężaru objętościowego znajduje zastosowanie w warunkach obudów wyrobisk górniczych, dokładność pomiaru ciężaru objętościowego obudowy wynosi poniżej 2% [2].

Drugi zakres zastosowań metod izotopowych dotyczy sprawdzenia stanu technicznego obudowy murowej i obejmuje:

- pomiary faktycznej grubości obudowy,
- sprawdzenie stanu obudowy po wykonaniu i w czasie jej współpracy z górotworem - defektoskopię obudowy,
- sprawdzenie stanu naprężeń w obudowie.

Dla określenia grubości obudowy wykorzystuje się wykresy cechowania. Przedstawiają one zależność zmian w natężeniu promieniowania  $\gamma$  od iloczynu ciężaru objętościowego i grubości obudowy. Pomiar grubości obudowy stosuje się więc w połączeniu z pomiarem ciężaru objętościowego, w czasie którego wyznaczony ciężar objętościowy wykorzystuje się do wyznaczenia grubości badanej obudowy z pomierzonej wartości natężenia promieniowania.

Wykorzystanie zmienności absorpcji promieniowania  $\gamma$ , w zależności od współczynnika pochłaniania poszczególnych składników obudowy murowej, pozwala na zastosowanie metody izotopowej do defektoskopii obudowy. Radiogram obudowy umożliwia określenie w sposób jednoznaczny wielkości i sposobu zbrojenia, wykrycia wad w wykonanej obudowie oraz ustalenia miejsca działającej korozji i niekorzystnej współpracy obudowy z górotworem.

### 3.2.3. Metody ultradźwiękowe

Ultradźwiękami nazywany mechaniczne zjawisko falowe, występujące w ośrodkach gazowych, ciekłych i stałych, o częstotliwości większej niż górna granica słyszalności ludzkiego ucha, a więc ponad 16 kHz. Warunki rozchodzenia się fal ultradźwiękowych i towarzyszące im zjawiska zależą od



własności ośrodka. Fale ultradźwiękowe określa się najogólniej jako zjawisko przeniesienia się w przestrzeni ruchu drgającego o częstotliwości ponadслyszalnej. Pod wpływem badań nad zachowaniem się betonu pod działaniem obciążeń impulsowych o dużych częstotliwościach, lecz małych amplitudach, stwierdzono, że beton można uważać za ośrodek lepkosprężysty, w którym fale rozchodzą się z prędkością, którą można obliczyć ze wzoru analogicznego jak dla ośrodka idealnie sprężystego. Wynika to z faktu, że przy dużych częstotliwościach wpływ czynnika lepkiego w przyjętym schemacie ciała tak ogranicza odkształcenia sprężyste uzależnione od modułu  $E$ , że prędkość fali zależy tylko od modułu dynamicznego  $E_d$ , który jest stałą adiabatyczną, charakteryzującą odkształcenia szybkie, zachodzące bez wymiany ciepła z otoczeniem. Dynamiczny moduł sprężystości jest na ogół większy od statycznego, który jest stałą izotermiczną i związany jest z powolnymi odkształceniami, zachodzącymi przy stałej temperaturze ośrodka.

Wprowadzony do betonu impuls ultradźwiękowy przebiega określoną drogą z prędkością zależną od jakości betonu. Wyniki pierwszych badań przeprowadzonych w latach 1946-1950 wskazywały na istnienie związku pomiędzy wytrzymałością betonu a dynamicznym modułem sprężystości, będącym funkcją prędkości rozchodzenia się podłużnej fali ultradźwiękowej [5]. Jednakże późniejsze prace i badania wykazały, że związek pomiędzy wytrzymałością betonu i prędkością fal ultradźwiękowych zależy także od składu betonu, jego pielęgnacji oraz innych czynników zewnętrznych.

Badania ultradźwiękowe polegają więc na określeniu prędkości fali ultradźwiękowej w ośrodku. Prędkość propagacji jest własnością charakterystyczną dla danego ośrodka i dla fali podłużnej wyraża się wzorami zawartymi w pracy [6], a ogólnie wyraża się w postaci

$$V_L = \frac{E_d(1 - \nu)}{\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

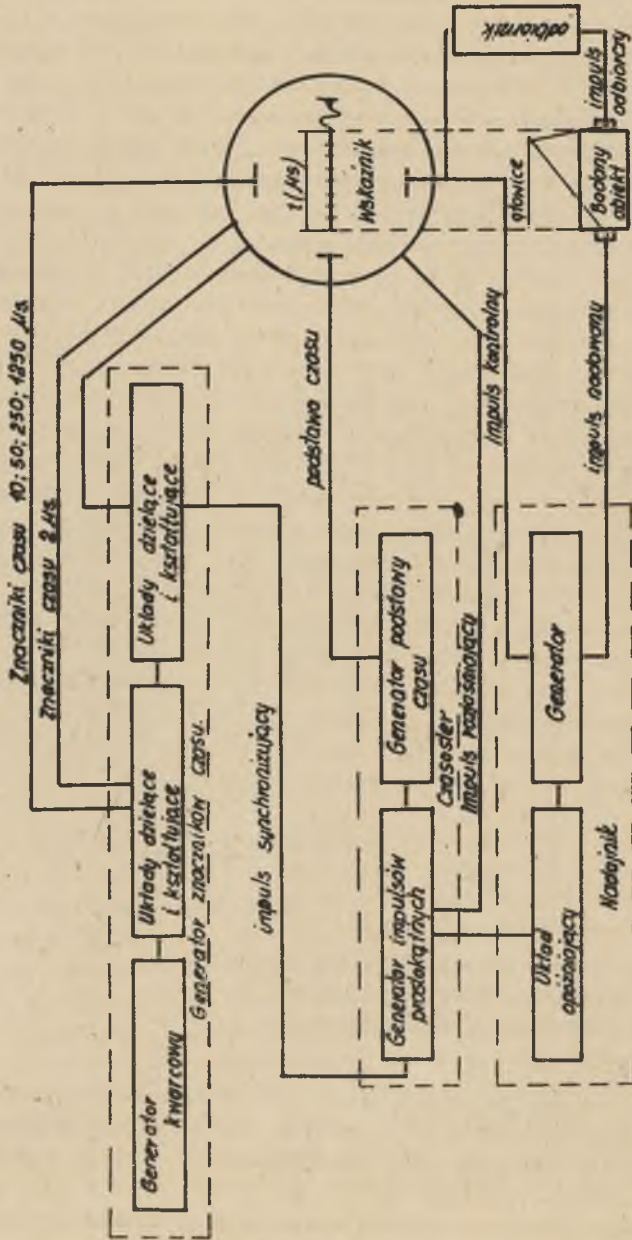
gdzie:

- $V_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $E_d$  - dynamiczny moduł sprężystości,
- $\nu$  - dynamiczna liczba Poissona,
- $\rho$  - gęstość.

W ośrodku stałym oprócz fal podłużnych powstają jeszcze fale poprzeczne i fale powierzchniowe. W technice badań nieniszczących stosuje się głównie fale podłużne, jako rozchodzące się z większą prędkością niż pozostałe rodzaje fal [6] [7].

Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu sprowadza się do określenia czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej na znanej drodze. Prędkość fali określany wzorem





rys. 3. Schemat blokowy betenoskopu ultradźwięk. typu B1-5R

$$v_L = \frac{L}{(t - t_1)},$$

gdzie:

- $v_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $L$  - droga propagacji fali ultradźwiękowej,
- $t$  - czas przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $t_1$  - opóźnienie na warstwie sprzęgającej.

Doraźną wytrzymałość na ściskanie badanego betonu określa się z zależności  $R_c = f(v_L)$  określonej laboratoryjnie dla betonu o takich samych parametrach, warunkach przechowywania i pielęgnacji jak badany beton [5], [6].

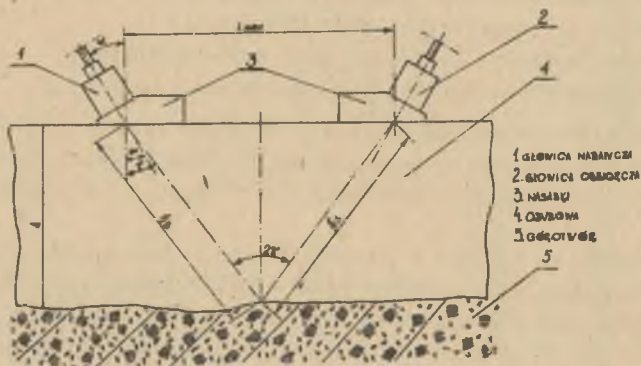
Do wzbudzenia, odbioru i pomiaru czasu propagacji fali ultradźwiękowej stosowane są przyrządy elektroniczne - betonoskopy (rys. 3 i 3a). W warunkach obustronnego dostępu do badanej konstrukcji stosowana jest powszechnie metoda przepuszczania (rys. 3), w której głowica nadawcza i odbiorcza umieszczone są na przeciwległych płaszczyznach badanej konstrukcji. Kłopotliwość dostępu do obydwu przeciwległych powierzchni badanego elementu eliminuje stosowanie tej metody do badania murowych obudów górniczych w warunkach in situ. Przewiedzone są prace nad stosowaniem metody echa do pomiaru wytrzymałości górniczych obudów murowych [9], jednak według oceny autorów uzyskuje się dużą dyspersję wyników oraz możliwość powstania znacznych błędów pomiarowych.



Betonoskop ultradźwiękowy B1-SR

### 3.2.3.1. Zastosowanie metody V do badania górniczych obudów murowych

Zasadniczą ideą ultradźwiękowej metody V [10] jest realizacja prękości podłużnej fali ultradźwiękowej w warstwach dostępu do jednej płaszczyzny badanej obudowy (rys. 4).



Rys. 4. Układ głowic pomiarowych w metodzie "V"

1 - głowica nadawcza, 2 - głowica odbiorcza, 3 - nasady, 4 - obudowa, 5 - górotwór



Rys. 4a. Przebieg odebranego sygnału na ekranie betonoskopu

Układ: obudowa - ocios, którego ośrodki posiadają różne charakterystyki akustyczne, spełnia warunki dla realizacji odbicia fali ultradźwiękowej. Odbicie to odbywa się na granicy faz według wzoru

$$K = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2,$$

gdzie:

$$Z = \frac{\rho_1 v_{L1}}{\rho_2 v_{L2}}$$

$v_{L1}$  - akustyczna oporność falowa obudowy,

$v_{L2}$  - akustyczna oporność falowa skały,

K - współczynnik odbicia.

Fala ultradźwiękowa, wprowadzona głowicą nadawczą N pod kątem  $\alpha$  z dostępnej powierzchni obudowy, ulega odbiciu na granicy obudowa - ocios i wraca do głowicy odbiorczej (rys. 4). W celu realizacji pomiaru prędkości

todo "V" wykonano nasadki z polimetakrylanu metylu na głowicę nadawczą i odbiorczą, umożliwiające wprowadzenie fali ultradźwiękowej w obudowę pod kątem  $\alpha = 30^\circ$ . W obudowie fala ulega załamaniu i rozchodzi się pod kątem  $\gamma$  według wzoru

$$\sin \gamma = \sin \alpha \frac{v_L}{v_{LN}}, \quad (1)$$

gdzie:

- $\alpha$  - kąt nasadki przyjęto  $\alpha = 30^\circ$ ,
- $\gamma$  - kąt propagacji fali w obudowie,
- $v_L$  - prędkość fali podłużnej w obudowie,
- $v_{LN}$  - prędkość fali podłużnej w polimetakrylenie metylu.

Podstawiając  $v_{LN} = 2730$  m/s i  $\sin 30^\circ = 0,5$  do wzoru (1), otrzymamy:

$$\sin \gamma = \frac{v_L}{5460}. \quad (2)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{v_L}{5460} \quad (2a)$$

Wzór ten wskazuje, że kąt  $\gamma$ , pod jakim odbywa się propagacja fali ultradźwiękowej w betonie, jest zależny od prędkości fali podłużnej. Przyjmujemy znany wzór na prędkość fali podłużnej ultradźwiękowej

$$v_L = \frac{s}{t}, \quad (3)$$

gdzie:

- s - droga fali ultradźwiękowej (rys. 4)  $\frac{1}{2} S + \frac{1}{2} S$ ,
- t - czas przejścia fali ultradźwiękowej na drodze S.

i określając drogę S jako

$$S = \frac{L_{\max}}{\sin \gamma}, \quad (4)$$

po podstawieniu do wzoru (2) otrzymamy:

$$S = \frac{L_{\max}}{\frac{v_L}{5460}} \quad (5)$$

Podstawiając wzór na drogę propagacji fali (5) do wzoru na prędkość (3), otrzymujemy po przekształceniu wzór na prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w badanej obudowie przy zastosowaniu metody V

$$v_L = 73,89 \sqrt{\frac{L_{\max}}{t}} \quad (6)$$



Występująca w tym wzorze wielkość  $L_{\max}$  jest odległością pomiędzy osiami głowic, zapewniającą odbiór maksymalnej energii fali. Na skutek rozproszenia fali ultradźwiękowej w materiale obudowy oraz na powierzchni odbicia obudowa - ocios, wiązka fali ultradźwiękowej nie jest skoncentrowana. Zmieniając odległość pomiędzy głowicami  $L$ , należy ustalić drogę obserwacji amplitudy odebranej fali ultradźwiękowej oraz miejsce maksymalnej energii w wiązce fali i tę odległość przyjąć jako  $L_{\max}$ . Metoda "V" umożliwia jednoczesny pomiar grubości obudowy, korzystając z wyprowadzonej poniżej zależności. Wzór na odległość osi głowic według rys. 4.

$$L_{\max} = 2 H \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

podstawiając do wzoru (7) zależność 2a, otrzymujemy

$$L_{\max} = 2 H \operatorname{tg} \left( \operatorname{arc} \sin \frac{v_L}{5460} \right), \quad (8)$$

a po przekształceniu grubość obudowy  $h$  wynosi

$$R = \frac{L_{\max}}{2 \operatorname{tg} \left( \operatorname{arc} \sin \frac{v_L}{5460} \right)} \quad (9)$$

Dla realizacji badań laboratoryjnych (10) wykonane modele obudów betonowych o wymiarach  $450 \times 200 \times H$ . Wysokość  $H$  była zmienna od 200-400 mm.

Modele wykonano na cemencie portlandzkim 250 według danych zawartych w tablicy 1.

Badania rozpoczęto po upływie 32 dni od chwili wykonania modeli, które przechowywane były w stanie powietrznowilgotnym. Dla każdego bloku mierzone prędkość metodą przepuszczania oraz metodą "V", wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 2. Dla każdego modelu obliczono względną procentową odchyłkę prędkości według wzoru

$$\Delta v_L = \frac{v_L - v_{L_V}}{v_L} \cdot 100\% \quad (10)$$

gdzie:

$\Delta v_L$  - względna procentowa odchyłka prędkości,

$v_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej pomierzona metodą przepuszczania,

$v_{L_V}$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej pomierzona metodą V.

Analizując wielkości względnej procentowej odchyłki prędkości stwierdzamy, że największa jej wartość wynosi 2,04%, podczas gdy większość wyników waha się w granicach 1%. Według literatury [8] błąd względny określania prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej wynosi do 3%, a więc war-

Charakterystyka modeli obudów betonowych stosowanych w badaniach

Nr serii modelu	Skład betonu	Charakterystyka powierzchni odbijającej fale ultradźwiękowe	U w a g i
101	Kruszywo o ziarnach 0,54 mm C/K = 1:3	zwierciadlany	Modele betonowe o różnym uziarnieniu kruszywa do badania tłumienia fali ultradźwiękowej H = 20 cm
102	Kruszywo o ziarnach 0,54 - 1,1 mm C/K = 1:3		
103 104	Kruszywo o ziarnach 2 - 6,3 mm C/K = 1:3		
201 202 203 204	C/K = 1:3 Kruszywo o uziarnieniu 0-20 mm wg PN-63/B-06250	nierówności statyczne h = 2 cm h = 6,5 cm h = 6,0 cm h = 8,0 cm	Modele o różnej wysokości nierówności powierzchni odbijającej do zbadania wpływu tych nierówności na prędkość fali ultradźwiękowej H = 20 : 25
301 302 303	jak wyżej	zwierciadlany	grub. modelu Modele o różnych grubościach H = 30 cm H = 32 cm H = 40 cm
401 402 403 404 405	Kruszywo 0-20 cm C/K = 1:1 C/K = 1:2 C/K = 1:4 C/K = 1:5 C/K = 1:6	zwierciadlany	Model z betonu o różnym stosunku C/K dla H = 21 cm
501 502 503 504 505 506 507 508 509 510	C/K = 1:3 Kruszywo 0-20 mm wg PN-63/B-06250	zwierciadlany	Modele do sprawdzenia dokładności pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej metodą V. H = 20-24 cm

U w a g a : Ilość wody zarobowej w betonie przyjmowano wg tabeli Sterna dla betonu plastycznego.

Tablica 2

Zestawienie pomiarów prędkości fali ultradźwiękowej metodą przepuszczania i metodą V

Nr serii modelu	$V_L$ m/s	$V_{L_V}$ m/s	$V_L$ %
101	3100	3115	-0,48
102	3350	3300	1,42
103	3375	3370	0,15
104	3400	3375	0,75
201	3400	3435	-1,03
202	3430	3430	0
203	3440	3460	-0,58
204	3440	3370	2,04
301	3440	3500	-1,74
302	3440	3415	0,73
303	3440	3475	-1,02
401	3456	3420	1,04
402	3460	3500	-1,16
403	3470	3420	1,44
404	3470	3490	-0,58
405	3520	3535	-0,42
501	3522	3535	-0,25
502	3530	3505	0,71
503	3530	3535	-0,14
504	3534	3535	-0,03
505	3550	3510	1,13
506	3600	3595	0,14
507	3615	3600	0,42
508	3630	3635	-0,14
509	3630	3660	-0,48
510	3640	3640	0

tość względnej procentowej odchyłki prędkości (tablica 2) mieści się w granicach błędu pomiarowego.

W praktycznym więc zastosowaniu metody V przyjmujemy, że mierzona wartość prędkości jest identyczna z wartością pomierzoną metodą przepuszczania. Pozwala to na stosowanie metody przepuszczania do wyznaczenia krzywej skalowania  $R_c - f(v_L)$ .

Modele serii 200 (tablica 1) posiadają zamodelowaną powierzchnię ociosu o nierównościach statystycznych. Wyniki pomiarów prędkości w tej serii modeli (tablica 2) nie wykazują większych różnic w porównaniu z modelami o powierzchni zwierciadlanej.

Jak wykazano wcześniej, zastosowanie metody V pozwala na obliczenie grubości obudowy według podanego wzoru (9). Dla potwierdzenia słuszności metody obliczeń grubości obudowy przeprowadzono pomiary na modelach obudów, których wyniki zamieszczono w tabelicy 3. Miarą dokładności metody obliczania grubości obudowy jest względna procentowa odchyłka grubości określona wzorem

$$\Delta H = \frac{H_{rzecz} - H}{H_{rzecz}} 100\%, \quad (11)$$

gdzie:

- $\Delta H$  - względna procentowa odchyłka grubości,
- $H_{rzecz}$  - rzeczywista grubość obudowy,
- $H$  - grubość obudowy.

Tabelica 3

Wyniki pomiarów grubości modeli obudowy metodą V

Nr serii bleku	$V_{L_V}$ m/s	$L_{max}$ cm	$H_{rzecz}$ cm	$H$ cm	$\Delta H =$ $\frac{H_{rzecz} - H}{H_{rzecz}}$
101	3115	30,0	20,5	21,7	-5,8
102	3300	34,0	20,5	21,6	-5,4
103	3370	31,0	20,0	19,8	+1,0
104	3375	34,5	20,5	21,9	-6,8
201	3435	32,0	20,0	19,8	+1,0
202	3430	34,5	21,0	21,4	+4,7
203	3460	35,0	22,0	21,9	+0,5
204	3370	40,5	25,0	25,8	-3,2
301	3500	48,0	30,0	28,9	+3,7
302	3415	50,0	32,0	31,3	+2,9
303	3475	63,0	40,0	38,2	+4,5
401	3420	37,5	21,5	23,4	-8,8
402	3500	38,0	21,5	22,8	-6,0
403	3420	37,0	21,5	22,9	+4,4
404	3490	37,0	21,5	22,3	-3,7
405	3535	35,0	21,0	20,6	+1,9
501	3522	38,0	21,5	22,5	-4,7
502	3505	36,5	22,5	21,5	+4,4
503	3535	36,0	22,0	21,5	+2,3
504	3535	36,0	22,0	21,5	+2,3
505	3510	40,0	25,0	23,9	-3,9
506	3595	38,0	25,5	27,6	-8,2
507	3600	37,5	22,0	21,4	+4,7
508	3635	37,5	22,0	21,0	+4,5
509	3660	35,0	25,0	24,8	+0,8
510	3640	37,0	21,5	20,6	+4,2

Analizując wyniki pomiarów i obliczeń zestawionych w tabelicy 3 stwierdzamy, że w zakresie grubości modelu obudowy od 20-60 cm maksymalna odchyłka grubości wynosi 8,8%, największa natomiast odchyłka grubości wynosi około 2 cm.



Przy zastosowaniu metody V (rys. 4) do badania górniczej obudowy murowej rozchodzą się w niej następujące rodzaje fal: podłużna L, poprzeczna T i powierzchniowa S. Prędkości tych fal obliczamy według wzorów:

$$v_L = \sqrt{\frac{E_d(1-\nu)}{2(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (11a)$$

$$v_T = \sqrt{\frac{E_d}{2Q(1+\nu)}}, \quad (11b)$$

$$v_S = \frac{0,87 + 1,12\nu}{1 + \nu} \cdot \sqrt{\frac{E_d}{2(1-\nu)}}, \quad (11c)$$

gdzie:

- $v_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $v_T$  - prędkość poprzecznej fali ultradźwiękowej,
- $v_S$  - prędkość powierzchniowej fali ultradźwiękowej,
- $E_d$  - dynamiczny moduł sprężystości,
- $\nu$  - dynamiczna liczba Poissona,
- $Q$  - gęstość.

Wzajemne stosunki tych prędkości określamy nierównościami

$$v_L > v_T > v_S. \quad (11d)$$

W układzie głowic pomiarowych, jak na rys. 4, do głowicy odbiorczej najpierw dobierana jest fala powierzchniowa S, która choć najwolniejsza [11] ma do pokonania najmniejszą drogę  $L_{\max}$ , tj. odległość pomiędzy głowicą nadawczą i odbiorczą (rys. 4).

Ze względu na znacznie szybsze tłumienie fali powierzchniowej niż innych rodzajów fal w funkcji odległości (11) posiada ona niewielką amplitudę, jest to pierwsza grupa impulsów obserwowanych na lampie oscyloskopowej betonoskopu (rys. 4).

Fale, podłużna L i poprzeczna T, po przejściu powierzchni granicznej nasadka-obudowa ulegają załamaniu i rozchodzą się w obudowie pod różnymi kątami. Ze względu na nieznaczne tylko różnice w drodze propagacji obu rodzajów fal i fakt, że fala podłużna jest w ciałach stałych o około 50% szybsza niż fala poprzeczna [6, 11, 12] do głowicy odbiorczej (rys. 4) przedej dotrze fala podłużna, oczywiście przy uwzględnieniu warunku odbioru maksymalnej energii d fali podłużnej  $L_{\max}$ . Fala podłużna obserwowana jest na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu, jako pierwszy impuls z grupy impulsów o dużej amplitudzie. Fala poprzeczna natomiast odbierana jest później i jej przebieg rozkłada się na całą serię odebranych impulsów. Wyodrębnienie fali poprzecznej z obserwowanego na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu przebiegu impulsów fal jest bardzo trudne, a praktycznie niemożliwe.

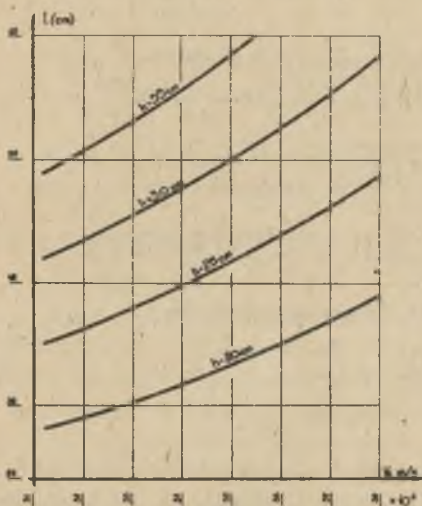
Dla określenia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej konstrukcji obudowy z wykorzystaniem metody V, według wzoru (6), należy dokonać odczytu czasu przejścia fali ultradźwiękowej z betonoskopu do momentu startu pierwszego impulsu o wysokiej amplitudzie. Potwierdzeniem słuszności powyższego rozumowania są niewielkie, mieszczące się w granicach błędu pomiarowego prędkości, odchyłki (tablica 2) pomiędzy prędkością określoną metodą V i metodą przepuszczania.

### 3.2.3.2. Zasady stosowania metody V

Dla określenia wytrzymałości i grubości obudowy betonowej w warunkach eksploatacyjnych, należy przyjąć następujący tok postępowania:

A. Ustalić orientacyjną odległość  $L$  pomiędzy głowicami - nadawczą i odbiorczą. W tym celu należy skorzystać z wykresu przedstawionego na rys. 5, który ujmuje zależności pomiędzy odległością głowic na powierzchni badanej obudowy, grubością obudowy oraz prędkością podłużnej fali ultradźwiękowej. Wartość grubości należy oszacować wstępnie na podstawie projektu obudowy, natomiast prędkość fali określić z tablicy 4.

B. Przesuwając głowicę odbiorczą po powierzchni betonu obudowy do momentu zaobserwowania na ekranie betonoskopu maksymalnej wiązki impulsów fali odbitej, wyznaczyć odległość  $L_{max}$ . Odległość  $L_{max}$ , zapewniająca odbiór maksymalnej energii fali odbitej od skały ociosu, należy uznać za obliczeniową.



Rys. 5. Zależność  $L = f(V_{Lo})h = \text{const}$  dla wstępnego ustalenia odległości pomiędzy głowicami

Tablica 4

Orientacyjne zależności jakości betonu od prędkości fali ultradźwiękowej wg Filipczyńskiego [11]

Jakość betonu	Prędkość fali podłużnej $V_L$ m/s	Orientacyjna wytrzymałość na ściskanie $R_c \times 10^5$ N/m <sup>2</sup>
Bardzo zła	2000	-
Zła	2000-3000	do 40
Niezbyst dobra	3000-3500	do 100
Dobra	3500-4000	do 250
Bardzo dobra	4000-4500	do 400
Doskonała	4500	ponad 400

C. Dokonać pomiaru czasu  $t$  przejścia fali ultradźwiękowej na drodze  $s$  przy  $L_{max}$ , licząc go do pierwszego impulsu o dużej amplitudzie.

D. Wyznaczyć prędkość fali ultradźwiękowej w obudowie według wzoru

$$v_L = a \sqrt{\frac{L_{max}}{t}}, \quad (12)$$

gdzie  $a$  - współczynnik zależy od kąta nasadki oraz od prędkości fali ultradźwiękowej w polimetakrylanie metylu.

W badaniach, gdzie zastosowano kąt  $\alpha = 30^\circ$  dla nasadki z polimetakrylanu metylu wartość "a" wynosiła 73,89 (wzór 6). Tablica 5 podaje wartości "a" dla różnych kątów nasadek z polimetakrylanu metylu.

Tablica 5

Wartości współczynnika "a" dla różnych kątów nasadek z polimetakrylanu metylu

$\alpha$	$15^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$60^\circ$
a	102,8	73,89	60,98	56,14

E. Wartość doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy wyznaczamy z odpowiedniej krzywej skalowania  $R_c = f(v_L)$ .

F. Dokładną wartość grubości obudowy  $H$  wyznaczamy wzorem

$$H = \frac{L_{max}}{2 \operatorname{tg}(\arcsin \frac{v_L}{5486})} \quad (13)$$

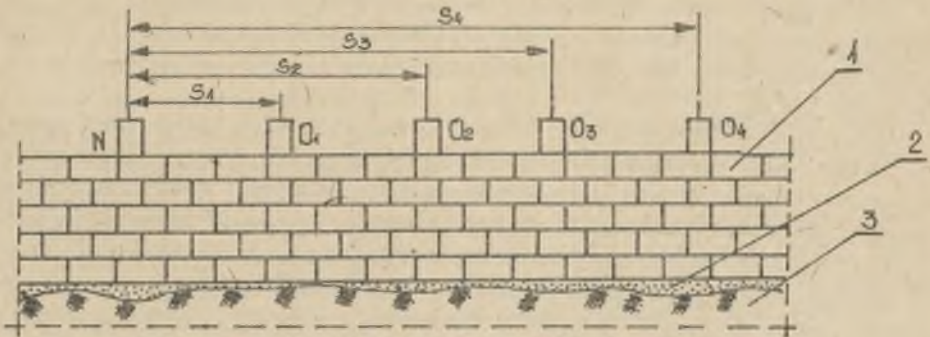
Metoda V pomiaru wytrzymałości i grubości obudów górniczych znajduje zastosowanie głównie do obudów betonowych, gdyż w obudowach murowych ceglanych i betonitowych występuje dodatkowe osłabienie natężenia fali ultradźwiękowej, utrudniające jej rejestrację, jest to spowodowane kolejnymi odbiciami fali na granicach spoiwa - cegła (betonit).

Pomiar prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej z zastosowaniem metody V wymaga precyzyjnego przemieszczenia głowicy odbierczej po powierzchni obudowy, czynności te są trudne i niebezpieczne w warunkach utrudnionego dostępu do powierzchni obudowy szybu. Metoda V znajduje więc zastosowanie głównie do pomiaru grubości i wytrzymałości betonowych obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych.

### 3.2.3.3. Metoda propagacji pośredniej

Metoda propagacji pośredniej (rys. 6) polega na pomiarze prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie z wykorzystaniem jednej dostępnej płaszczyzny bez stosowania nasadek katowych na głowice pomiarowe. W metodzie propagacji pośredniej głowica nadawcza E (rys. 6) generuje w konstrukcji obudowy pole akustyczne. Zasadniczą część energii pola akustycz-





Rys. 6. Układ głowic pomiarowych w metodzie propagacji pośredniej  
1 - obudowa murowa, 2 - podsadzka, 3 - górotwór, N - głowica nadawcza

$O_1 \div O_4$  - głowica odbiorcza w kolejnych punktach pomiarowych od 1 do 4  
 $S_1 \div S_4$  - drogi propagacji w kolejnych punktach pomiarowych od 1-4

nego ukierunkowana jest w głąb obudowy w płaszczyźnie prostopadłej do głowicy nadawczej.

W płaszczyźnie równoległej ukierunkowana jest nieznaczna tylko część energii, tj. około 2-3% mocy sygnału akustycznego [7], co ogranicza czułość metody. Dodatkowym utrudnieniem, występującym przy stosowaniu metody propagacji pośredniej, jest konieczność traktowania układu obudowa-górotwór jako ośrodka warstwowego, mogącego zmienić warunki pomiaru.

Z tych też względów metoda propagacji pośredniej, aczkolwiek zalecana przez Międzynarodową Unię Laboratoriów Materiałów i Konstrukcji (RILEM) w Paryżu [13], może znaleźć zastosowanie tylko w ściśle określonych warunkach, które dla obudów murowych należało ustalić. Metoda propagacji pośredniej polega na pomiarze czasu przejścia fali na drogach  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  (rys. 6). Następnie obliczamy  $v_{L_1}$ ,  $v_{L_2}$ ,  $v_{L_3}$ ,  $v_{L_4}$  według wzoru

$$v_L = \frac{L}{(t - t_1)} \quad (13a)$$

gdzie:

- $v_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $L$  - droga propagacji fali ultradźwiękowej,
- $t$  - czas przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $t_1$  - opóźnienie na warstwie sprzęgającej.



Dla każdego punktu pomiarowego określamy prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej jako wartość średnią z czterech pomiarów prędkości, która służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z zależności  $R_c = f \cdot V_L$ .

Układ obudowa-gorotwór jest ośrodkiem warstwowym, w którym może wystąpić zmiana cech kinetycznych i dynamicznych pola akustycznego, wyrażająca się między innymi zmianą prędkości propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie. Wystąpienie wpływu ośrodka warstwowego dyskwalifikowałoby tę metodę pomiarową, gdyż mierzona prędkość nie odpowiadałaby prędkości propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy. W geofizyce znane są podobne przypadki występujące przy pomiarach prędkości fali akustycznej w ośrodkach warstwowym. Ustalono teoretycznie i doświadczalnie [14], [15] warunek wykluczający wystąpienie wpływu ośrodka warstwowego:

$$\frac{H}{\lambda} \geq 2, \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{V_L}{f}, \quad (15)$$

gdzie:

- H - grubość warstwy (obudowy),
- $\lambda$  - długość fali,
- f - częstotliwość fali.

Pomiary prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej metodą pośrednią wykazały, że na niewielkich bazach pomiarowych wyniki prędkości fali są niejednorodne. Literatura z zakresu geofizyki [16], [17] podaje warunek minimalnej bazy pomiarowej.

$$S_{\min} \geq 1,5\lambda, \quad (16)$$

gdzie:

- $S_{\min}$  - minimalna baza pomiarowa,
- $\lambda$  - długość fali.

Warunki opisane powyższymi wzorami znalazły pełne potwierdzenie w przypadku metody propagacji pośredniej, limitując jednocześnie dobór częstotliwości generowanej fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy oraz minimalną bazę pomiarową  $S_{\min}$ . W oparciu o badania laboratoryjne [10] ustalono minimalną  $V_{L\min} = 1000$  m/s i maksymalną  $V_{L\max} = 5000$  m/s prędkość fali w obudowie górniczej, co przy częstotliwości pracy głowicy nadawczej  $f = 250$  kHz daje długość fali w obudowie odpowiednio od 0,4 do 2,0 cm. Dla badań murowych warunki opisane wzorami (14) i (16) spełnione są więc dla częstotliwości generowanej fali ultradźwiękowej  $f = 250$  kHz i minimalnej odległości pomiarowej  $S_{\min} = 8$  cm.

Przy zastosowaniu metody propagacji pośredniej (rys. 6) do badania górniczych obudów murowych rozchodzą się w niej następujące rodzaje fal: podłużna L, poprzeczna T i powierzchniowa S. Prędkości tych fal określają wcześniej podane wzory (11a), (11b), (11c).

W układzie głowic jak na rys. 6 do głowicy odbiorczej najpierw dociera podłużna fala ultradźwiękowa, która zgodnie z zależnością (11d) jest falą o największej prędkości propagacji, jest to pierwszy impuls, jaki widoczny jest na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu, do którego liczymy czas przejścia fali.

Następnie, do głowicy odbiorczej dociera fala powierzchniowa, która jest znacznie wolniejsza od podłużnej, zgodnie z zależnością (11d). Przebieg tej fali nakłada się z pewnym opóźnieniem na rejestrowane na ekranie lampy oscyloskopowej impulsy i jest praktycznie niemożliwy do określenia. W następnej kolejności do głowicy odbiorczej docierają fale odbite, które mają do pokonania większą drogę [16].

#### 3.2.3.4. Zasady stosowania metody propagacji pośredniej

Dla określenia wytrzymałości obudowy murowej metodą propagacji pośredniej, należy dokonać pomiaru czasu przejścia fali na drogach  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  (rys. 6). Następnie ze wzoru (13a) obliczamy:  $V_{L_1}$ ,  $V_{L_2}$ ,  $V_{L_3}$ ,  $V_{L_4}$ .

Dla każdego punktu pomiarowego określamy prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej, jako wartość średnią z czterech pomiarów prędkości, która służy do ustalenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z zależnością  $R_c = f(V_L)$ .

W celu uzyskania prawidłowych wyników należy zapewnić spełnienie następujących warunków [14] [15]:

$$\frac{H}{\lambda} \geq 2,$$

$$S_{\min} \geq 1,5\lambda.$$

Warunki te dla obudowy murowej spełnione są dla częstotliwości fali ultradźwiękowej  $f = 250$  kHz i minimalnej odległości pomiarowej  $S_{\min} = 8$  cm. Doświadczalnie ustalono, że pomiar wytrzymałości z zastosowaniem typowych betonoskopów odnosi się do warstwy obudowy o grubości około 40-50 cm, co jest zgodne z informacją literaturową [14]. Metoda propagacji pośredniej znajduje zastosowanie do obudów murowych ceglanych i bentonitowych oraz badania obudów betonowych i żelbetowych. Zasadniczą zaletą metody propagacji pośredniej jest prosty i szybki pomiar czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie, pozwala to na stosowanie jej w warunkach budownictwa szybkiego. Wadą tej metody jest fakt, że nie umożliwia ona wykonania pomiaru grubości obudowy metodą nieniszcząca. Czulość metody jest ograniczona niewielką mocą sygnału akustycznego, rozchodzącego się od głowicy nadawczej do głowicy odbiorczej. Dla stosowania metody propagacji po-

średniej w warunkach budownictwa szybowego, należy poprawić czułość metody drogą zwiększenia mocy sygnału akustycznego fali ultradźwiękowej, generowanej przez głowicę nadawczą aparatury pomiarowej.

### 3.2.3.5. Określenie krzywych skalowania

W rozdziałach poprzednich omówiono metody pomiaru prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w murewych obudowach górniczych, określenie krzywej skalowania, czyli wyznaczenie zależności  $R_C = f(V_L)$  obowiązującej dla danego rodzaju obudowy, co pozwoli na dokładne określenie doraźnej wytrzymałości na ściskanie. Określenie krzywych skalowania, tj. zależności  $R_C = f(V_L)$ , polega na przeprowadzeniu badań ultradźwiękowych (pomiar prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej  $V_L$ ) i wytrzymałościowych (pomiar doraźnej wytrzymałości na ściskanie  $R_C$ ) na odpowiedniej liczbie próbek. W celu otrzymania zależności  $R_C = f(V_L)$  przeprowadzono statystyczną analizę korelacyjną wyników badań. Badania ultradźwiękowe wykonano betonoskopem BI-8R, stosując głowice pomiarowe o częstotliwości 250 kHz. Oznaczenie doraźnej wytrzymałości na ściskanie próbek obudów dokonano w prasie hydraulicznej o sile nacisku 100 T. Dla statystycznej analizy korelacyjnej wyników badań zastosowano następujące postacie równań regresji:

- 1) liniowe  $R_C = a V_L + b,$
- 2) potęgowe  $R_C = b V_L^a,$
- 3) wykładnicze  $R_C = a V_L + b,$
- 4) logarytmiczne  $R_C = a \lg V_L + b,$
- 5) paraboliczne  $R_C = a V_L^2 + b V_L + c.$

Dla określenia parametrów równań regresji zastosowano metodę najmniejszych kwadratów, polegającą na założeniu, aby suma kwadratów odchyień była minimalna.

Ścisłość korelacji określa stopień wzajemnego powiązania analizowanych własności. Liczbową miarą ścisłości korelacji jest współczynnik korelacji [8]

$$S_{Y(X)} = \frac{G(Y)}{G_Y}, \quad (17)$$

gdzie:

$G(Y)$  - odchylenie standardowe obliczonych wartości Y określone ze wzoru

$$G(Y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_x Y^2 - \bar{y}^2} \quad (18)$$



gdzie:

$m_x$  - częściowa suma względem zmiennej  $y$  przy stałym  $x$ ,

$$m_x = \sum_y m_{xy},$$

$G_y$  - odchylenie standardowe zmiennej  $y$ ,

$$G_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_y y^2 - y^2} \quad (19)$$

gdzie:

$m_y$  - częściowa suma względem zmiennej  $x$  przy stałym  $y$ ,

$$m_y = \sum_x m_{xy}.$$

Ścisłość korelacji jest tym większa, im wielkość współczynnika korelacji, określonego wzorem (17), jest bardziej zbliżona do jedności. Obliczenia statystycznej analizy korelacyjnej wykonano na elektronicznej maszynie cyfrowej ODRA 1204.

Dla określenia niezbędnej liczby próbek posłużono się zależnością [8]

$$n = \frac{t^2 G^2}{Q}, \quad (20)$$

gdzie:

$n$  - niezbędna liczba próbek,

$t$  - współczynnik ufności dla rozkładu normalnego i poziomu ufności  $\alpha = 0,97$ ;  $t = 1,65$ ,

$Q$  - 2 $\sigma$ ,

$G$  - odchylenie standardowe.

Ustalono [10], że wskaźnik zmienności wytrzymałości betonu zmienia się w zakresie 5-20%, przyjmując  $G = 20\%$  i  $t = 1,65$ , otrzymujemy według [20] minimalną liczbę próbek

$$n = \frac{(1,65)^2 20^2}{2 \cdot 20} \approx 28.$$

Krzywe skalowania określono dla obudów murowych, ceglanych, betonitowych i betonowych. Dla obudów murowych, ceglanych skalowanie przeprowadzono dla modeli obudów wykonanych z cegieł klasy 150, 250, 350 na zaprawach marek 60, 80, 100 [10]. Wyniki pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono łącznie w tabelicy 6, natomiast statystycznej analizy korelacyjnej w tabelicy 37. Uzyskane tą drogą krzywe skalowania nie mogą mieć zastosowania dla obudów murowych ceglanych wyrobisk, wykonanych przed kilkudziesięciu laty, ze względu na zmianę parametrów wytrzymałościowych, spowodowaną:



Tablica 6

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla obudów murowych ceglanych

Lp.	Marka zaprawy	Cegła klasy 150		Cegła klasy 250		Cegła klasy 350	
		$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5 \text{N/m}^2$	$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5 \text{N/m}^2$	$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5 \text{N/m}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	2180	89	2820	149	3196	209
2	100	2220	84	2740	145	3040	200
3	100	2120	78	2760	134	3110	194
4	100	2190	74	2620	131	2950	190
5	100	2040	70	2640	122	2990	182
6	100	2000	65	2760	152	2860	182
7	100	2040	62	2720	139	3110	190
8	100	2010	75	2590	125	3000	185
9	100	2080	67	2700	128	2820	190
10	100	2180	77	2840	139	3010	202
11	100	1900	61	2500	122	2910	186
12	80	1980	58	2160	95	2490	162
13	80	1800	58	2220	103	2830	175
14	80	1820	51	2480	117	2650	173
15	80	1780	50	2460	110	2710	166
16	80	1960	54	2340	103	2600	168
17	80	1720	44	2290	110	2780	165
18	80	1580	42	2540	113	2540	163
19	80	1700	50	2160	99	2580	161
20	80	1980	57	2420	115	2620	164
21	80	1980	50	2290	95	2760	177
22	80	1660	47	2580	113	2790	170
23	60	760	27	1140	78	2480	155
24	60	960	25	1200	81	2310	152
25	60	1100	28	1400	80	2260	146
26	60	1300	28	1490	83	2110	143
27	60	1390	36	1600	82	1600	135
28	60	1590	37	1790	88	1840	136
29	60	1480	35	1940	87	1990	142
30	60	1290	35	2010	93	2160	147
31	60	1340	31	2110	90	2190	141
32	60	1220	24	2010	91	2010	140
33	60	1220	26	1640	82	1820	143

Tablica 7

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla obudów szybowych ceglanych o bardzo długim okresie eksploatacji - przykład I

Lp.	Kopalnia	Szyb rok zgłębienia	$R_c$ $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup>	$V_L$ m/s
1	2	3	4	5
1	Rozbark	Bończyk - 1865	93	2177
2	Rozbark	Bończyk - 1965	149	2650
3	Rozbark	Bończyk - 1865	96	2178
4	Pstrowski	Mieczysław - 1900	140	2540
5	Katowice	Bartosz - 1834	240	3417
6	Patrowski	Mieczysław - 1900	200	3200
7	Pstrowski	Mieczysław - 1900	171	2907
8	Katowice	Bartosz - 1834	120	2230
9	Katowice	Bartosz - 1834	88	1961
10	Katowice	Bartosz - 1834	109	2210
11	Czerwone Zagłębie	Jadwiga - 1912	103	2110
12	Czerwone Zagłębie	Jadwiga - 1912	221	2449
13	Czerwone Zagłębie	Jadwiga - 1912	142	2666
14	Barbara - Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	135	2590
15	Barbara - Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	120	2550
16	Rozbark	Bończyk - 1865	162	2820
17	Rozbark	Bończyk - 1865	104	2210
18	Rozbark	Bończyk - 1865	148	2690
19	Rozbark	Bończyk - 1865	217	3200
20	Czerwone Zagłębie	Jadwiga - 1912	163	3082
21	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	172	2860
22	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	118	2420
23	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	78	1980
24	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	170	2990
25	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	142	2591
26	Barbara Chorzów	Wyzwolenie I - 1905	119	2380
27	Powstańców Śląskich	Wit Stwosch - 1872	88	1850

od. tablicy 7

1	2	3	4	5
28	Powstańców Śląskich	Wit Stwosz - 1872	188	2950
29	Powstańców Śląskich	Wit Stwosz - 1872	164	2910
30	Powstańców Śląskich	Wit Stwosz - 1872	109	2340
31	Siemianowice	SII - 1935	157	2610
32	Siemianowice	SII - 1935	110	2300
33	Siemianowice	SII - 1935	88	1940
34	Siemianowice	SII - 1935	202	3040
35	Siemianowice	SII - 1935	110	2400
36	Siemianowice	SII - 1935	78	1700
37	Sosnowiec	Anna - 1900	70	1520
38	Sosnowiec	Anna - 1900	189	3140
39	Sosnowiec	Anna - 1900	138	2680
40	Sosnowiec	Anna - 1900	158	2740
41	Sosnowiec	Anna - 1900	148	2380
42	Sosnowiec	Anna - 1900	184	2980
43	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	198	3240
44	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	141	2660
45	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	156	2890
46	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	96	2060
47	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	116	2360
48	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	156	2780
49	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	130	2600
50	Barbara Chorzów	Wyzwolenie II - 1903	90	2000

Tablica 8

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla szybowych obudów ceglanych o bardzo długim okresie eksploatacji - przykład II

Lp.	Kopalnia	Szyb rok zgrębieńia	$R_c$ $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	$V_L$ m/s
1	2	3	4	5
1	Dębieńsko	Jan II - 1900	51	1290
2	Dębieńsko	Jan II - 1900	81	2610



1	2	3	4	5
3	Dębieńsko	Jan II - 1900	109	3090
4	Dębieńsko	Jan II - 1900	66	2100
5	Dębieńsko	Jan II - 1900	57	1730
6	Dębieńsko	Jan II - 1900	74	2440
7	Dębieńsko	Jan II - 1900	72	2310
8	Dębieńsko	Jan II - 1900	60	1920
9	Dębieńsko	Jan II - 1900	64	2050
10	Dębieńsko	Jan II - 1900	65	2250
11	Katowice	Warszawa - 1863	80	2510
12	Katowice	Warszawa - 1863	89	2730
13	Katowice	Warszawa - 1863	96	2950
14	Katowice	Warszawa - 1863	54	1590
15	Katowice	Warszawa - 1863	64	1960
16	Katowice	Warszawa - 1863	70	2200
17	Katowice	Warszawa - 1863	83	2680
18	Katowice	Warszawa - 1863	86	2650
19	Katowice	Warszawa - 1863	55	1450
20	Katowice	Warszawa - 1863	75	2380
21	Bobrek	Józef - 1908	86	2560
22	Bobrek	Józef - 1908	64	2160
23	Bobrek	Józef - 1908	63	1850
24	Bobrek	Józef - 1908	95	2850
25	Bobrek	Józef - 1908	101	3040
26	Bobrek	Józef - 1908	78	2480
27	Bobrek	Józef - 1908	88	2800
28	Bobrek	Józef - 1908	70	2350
29	Bobrek	Józef - 1908	53	1210
30	Bobrek	Józef - 1908	71	2400
31	Bobrek	Józef - 1908	90	2850



- brakiem stosowanych wtedy materiałów konstrukcyjnych cegła, zaprawa,
- trudnością zamodelowania w warunkach laboratoryjnych wpływu czasu na wytrzymałość obudowy,
- długotrwałym wpływem agresywnego środowiska na konstrukcję obudowy,
- brakiem znajomości receptur i technologii wykonawstwa.

Dla uzyskania krzywych skalowania przydatnych dla szybowych obudów ceglanych, o bardzo długim czasie eksploatacji, pobierano próbki z istniejących obudów szybowych kopalni głównie GOP (tablica 7 i 8). Z obudowy szybowej wykuwano młotkami pneumatycznymi bryłę obudowy, z której za pomocą pił diamentowych wycinano prostopadłościenną próbkę obudowy o wymiarach 160x160 mm.

Na próbkach prowadzono badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe dla ustalenia dwóch krzywych skalowania dla szybowych obudów murowych o bardzo długim czasie eksploatacji. Wyniki obliczeń statystycznych analizy korelacyjnej dla przykładów I i II przedstawiono w tablicy 13.

Dla szybów w obudowie betonitowej opracowano krzywe skalowania dla betonitów Bsz2 marki 200, badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe wykonano na próbkach obudów o wymiarach 160x160x160 mm, pobranych z szybów kopalni "Andaluzja" i "Niwka-Modrzejów". Wyniki badań ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono w tablicy 9, natomiast wyniki statystycznej analizy korelacyjnej przedstawiono w tablicy 13.

Tablica 9

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla szybowych obudów betonitowych wykonanych z betonitów Bsz2 - marki 200

Lp.	Kopalnia	Szyb rok zagłębenia	$R_c$ $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	$V_L$ m/s
1	2	3	4	5
1	Andaluzja	Reymont - 1960	170	4214
2	Andaluzja	Reymont - 1960	191	4453
3	Andaluzja	Reymont - 1960	202	5430
4	Andaluzja	Reymont - 1960	221	4561
5	Andaluzja	Reymont - 1960	91	2910
6	Andaluzja	Reymont - 1960	104	3290
7	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	110	3490
8	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	124	3740
9	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	139	3910
10	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	96	3160
11	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	151	4190
12	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	171	4280
13	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	181	4330
14	Andaluzja	Reymont - 1960	185	4390
15	Andaluzja	Reymont - 1960	175	4340

od. tablicy 9

1	2	3	4	5
16	Andaluzja	Reymont - 1960	179	4250
17	Andaluzja	Reymont - 1960	163	4220
18	Andaluzja	Reymont - 1960	129	3600
19	Andaluzja	Reymont - 1960	209	4540
20	Andaluzja	Reymont - 1960	159	4080
21	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	99	3410
22	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	161	4270
23	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	160	4550
24	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III - 1959	185	4360

Krzywe skalowania dla obudów betonowych określono dla betonu marki 200, 250 i 300 produkowanych w Przedsiębiorstwie PREWBET w Rybniku według receptur przedstawionych w tablicy 10.

Tablica 10

Zestawienie receptur betonu

Marka betonu	200	250	300
Rodzaj cementu	Portlandzki "350"		
Konsystencja betonu	Plastyczna		
Sposób zagęszczenia	Wibrowanie na stole wibracyjnym		
Stosunek cementu i wody c/w	1,61	2,07	2,17
Stosunek cementu i kruszywa (pospółka) c/k	0,13	0,19	0,22

Wyniki pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono łącznie w tablicy 11, a wyniki obliczeń statystycznych analizy korelacyjnej przedstawiono w tablicy 13.

Ze względu na odmienną recepturę betonów stosowanych do wykonawstwa betonowych obudów szybowych przeprowadzono w Przedsiębiorstwie Budowy Szybów w Bytomiu badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe betonów marek 200 i 250, dla ustalenia krzywych skalowania. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tablicy 12.

Receptury betonów tych marek według danych Przedsiębiorstwa Budowy Szybów w Bytomiu przedstawiają się następująco:

Tablica 11

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla obudów betonowych marek 200, 250, 300

Lp.	Beton marki 200		Beton marki 250		Beton marki 300	
	$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup>	$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup>	$V_L$ m/s	$R_c$ $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	3330	48	3645	172	3675	214
2	3380	56	3840	226	3690	226
3	3430	56	3890	259	3775	218
4	3370	50	3795	209	3825	239
5	3740	176	3745	184	3880	241
6	3730	170	3690	179	3925	258
7	3720	160	3740	174	3990	271
8	3690	150	3775	192	4025	292
9	3700	140	3785	199	4070	299
10	3670	130	3740	186	4095	319
11	3660	111	3855	238	4140	339
12	3490	62	3880	232	2930	252
13	3570	89	3820	220	4025	269
14	3540	71	3810	199	3950	262
15	3530	72	3680	171	4020	279
16	3615	104	3790	182	4021	271
17	3615	90	3810	229	3990	298
18	3590	96	3825	212	3960	262
19	3585	86	3820	191	3740	238
20	3575	104	3880	246	3910	251
21	3565	82	3845	220	3945	250
22	3649	101	3855	214	4010	284
23	3635	94	3010	218	4015	278
24	3690	121	3770	195	3980	276
25	3470	71	3845	230	3780	234
26	3630	109	3860	231	3945	270
27	3650	114	3825	214	3920	249
28	3640	104	3810	206	4050	299
29	3660	100	3820	204	4075	291
30	3590	94	3795	196	4040	286
31	3690	91	3810	226	3980	292
32	3670	139	3870	239	3970	266

Tablica 12

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla betonowych ebułów szybowych marek 200 i 350

Lp.	Beton marki 200		Beton marki 350	
	$V_L$ m/s	$R_c \times 10^5$ N/M <sup>2</sup>	$V_L$	$R_c \times 10^5$ N/m <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
1	3200	58	4211	409
2	3137	65	4211	409
3	3330	77	4200	349
4	3258	89	4178	334
5	3168	71	4211	364
6	3333	83	4990	273
7	3747	165	4255	454
8	3721	147	4233	379
9	3885	222	4199	364
10	3738	159	3922	257
11	3930	267	4189	364
12	3738	171	3855	242
13	3835	177	4178	364
14	3721	130	4156	349
15	3820	171	4167	349
16	3820	177	4082	303
17	3860	183	4071	303
18	3333	71	4113	334
19	3790	186	4313	485
20	3550	100	4156	349
21	3695	153	4167	364
22	3636	118	4082	303
23	3870	200	4081	303
24	3970	267	4071	303
25	3850	189	4324	485
26	3850	238	4157	333
27	3265	71	4255	454
28	3258	71	4061	303
29	3740	180	4082	303
30	3333	71	4071	303
31	3740	153	4061	334
32	3636	112	4092	334
33	3333	83	4071	334
34	3940	224	4233	394
35	3710	136	4222	394



1	2	3	4	5
36	3730	144	4178	370
37	3760	141	3765	227
38	3661	150	3902	257
39	3800	195	3855	257
40	3555	118	4200	349
41	3292	71	4211	409
42	3680	159	4244	394
43	3660	133	4189	349
44	3891	222	4200	379
45	3830	183	4211	334
46	3910	197	4051	288
47	3800	147	4020	288
48	3800	171	4167	334
49	3846	174	4255	364
50	3404	89	4244	364
51	3299	77	4189	349
52	3320	86	3809	227
53	3790	159	3333	179
54	3740	149	3933	273
55	3890	194	4200	334
56	3860	210	4121	409
57	3740	140	4189	334
58	3610	132	3404	183
59	3670	130	3720	212
60	3630	124	3970	273
61	3660	110	3980	288
62	3550	120	3792	242
63	3760	132	3951	273
64	3620	102	4000	288
65	3800	176	3636	212
66	3450	92	4071	303
67	3600	102	4211	409
68	3870	194	4189	379
69	3990	154	4189	379
70	3680	174	4102	319
71	3780	164	4040	303
72	3780	150	4102	303
73	3710	120	4000	273
74	3740	150	4020	303

Beton marki 200

Cement portlandzki marki 350	328 kg
Woda zarobowa	210 l
Mieszanka żwirowo-piaskowa o punkcie piaskowym frakcji piaskowej do 2 mm włącznie	1368 kg
Piasek płukany o punkcie piaskowym 96,62%	413 kg
Współczynnik c/w 1,75	
Konsystencja ciekła stożek Abramsa	17 cm opad

Beton marki 350

Cement portlandzki marki 350	440 kg
Woda zarobowa	210 l
Grys bazaltowy 16-25 mm	757 kg
Piasek płukany w punkcie piaskowym 96,62%	667 kg
Współczynnik c/w - 2	
Konsystencja ciekła - stożek Abramsa	18 cm opad.

Zgodnie z normą PN-63/B-06250 w trakcie betonowania odcinka szybu pobierane są próbki betonu, które po 28-dniowym sezonowaniu w warunkach wilgotnego środowiska poddawane są normowym badaniom wytrzymałościowym w laboratorium Przedsiębiorstwa Budowy Szybów w Bytomiu. Dla partii próbek betonów marki 200 i 350 przeprowadzone również badania ultradźwiękowe. Wyniki obliczeń statystycznych analizy korelacyjnej dla betonów obudów szybowych marki 200 przedstawiono w tabelicy 13. Dla doboru typu równania regresji o najlepszej ścisłości korelacji zależności  $R_c = f(V_L)$  współczynniki regresji a, b i c oraz współczynnik korelacji  $S_{y/x}$  określony wzorem (17) dla równań w postaci liniowej, potęgowej, wykładniczej, logarytmicznej i parabolicznej zestawiono w tabelicy 13. Analizując wartości współczynnika korelacji  $S_{y/x}$ , zawarte w tabelicy 13, stwierdzamy, że największa jego wartość, a więc i największa ścisłość korelacji dla krzywych skalowania wszystkich badanych rodzajów obudów występuje dla równań postaci:

$$\text{potęgowej } R_c = b V_L^a,$$

$$\text{parabolicznej } R_c = a V_L^2 + b V_L + c,$$

$$\text{wykładniczej } R_c = c a^{V_L} + b.$$

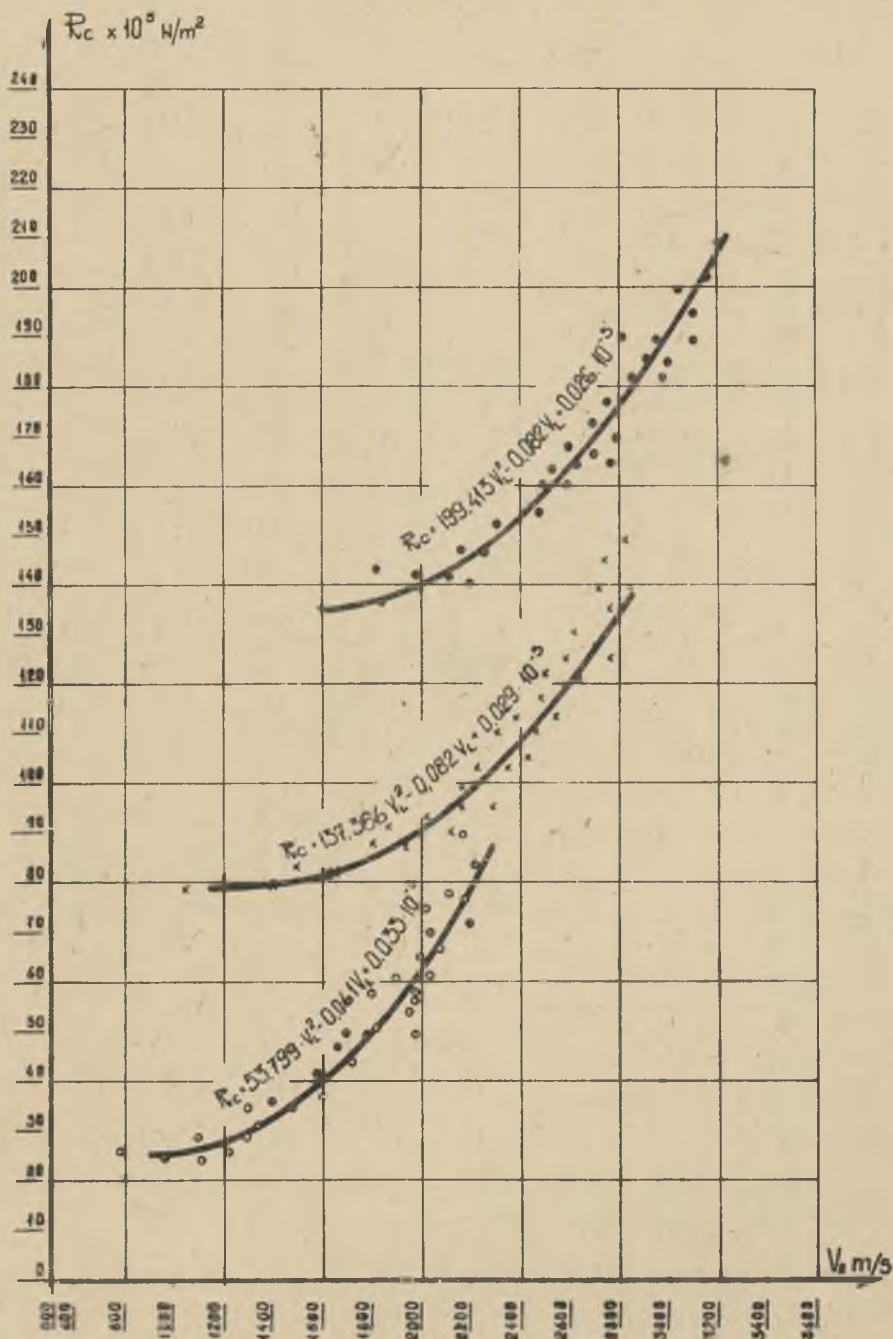
W przypadku równań  $R_c = f(V_L)$  w postaci potęgowej w wydrukach obliczeń z EMC dla współczynnika regresji "b" liczba znacząca występuje często dopiero na pozycjach poza zasięgiem pojemności maszyny, co uniemożliwia posługiwanie się tą postacią równania. Dlatego w dalszych rozważaniach przyjęto funkcję paraboliczną typu

$$R_c = a V_L^2 + b V_L + c$$

Tabela 13

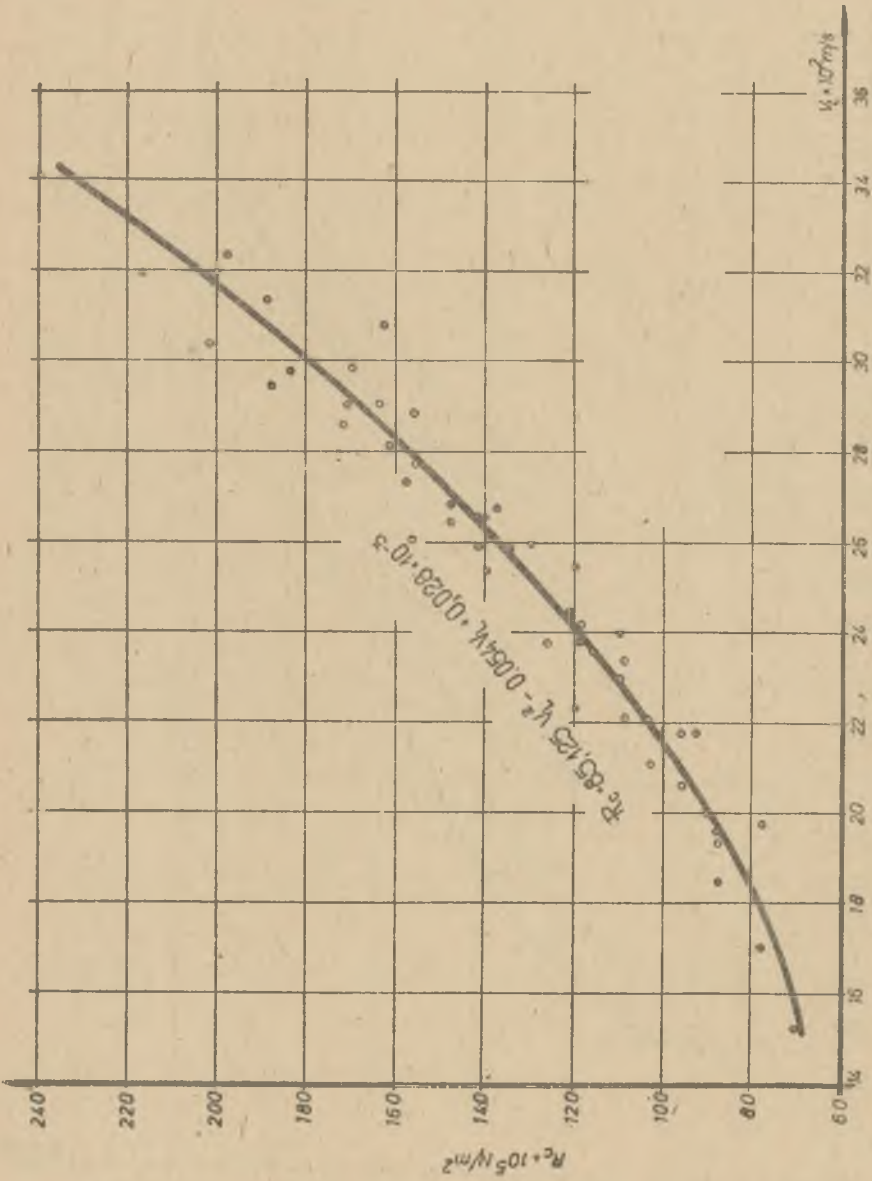
Zestawienie współczynników regresji i współczynników korelacji dla krzywych skalowania górniczych obudów euro-wych

Rodzaj obudowy	$R_C = a V_L + b$		$R_C = b V_L^a$		$R_C = e^{a V_L + b}$		$R_C = a \ln V_L + b$		$R_C = a V_L^b + b V_L + c$	
	a, b	$S_{Y/X}$	a, b	$S_{Y/X}$	a, b	$S_{Y/X}$	a, b	$S_{Y/X}$	a, b, c	$S_{Y/X}$
Murawa ceglana z cegieł marki 150	a = 0,440 b = -23,457	0,926	a = 1,356 b = 8,082	0,929	a = 0,001 b = 2,254	0,961	a = 61,767 b = -406,590	0,880	a = 53,799 b = -0,061 c = 0,033 · 10 <sup>-3</sup>	0,927
Murawa ceglana z cegieł marki 250	a = 0,039 b = 20,174	0,912	a = 0,697 b = 0,502	0,895	a = 0,8003 b = 3,822	0,936	a = 72,957 b = -452,361	0,865	a = 137,386 b = -0,082 c = 0,029 · 10 <sup>-3</sup>	0,912
Murawa ceglana z cegieł marki 350	a = 0,047 b = 46,984	0,943	a = 0,664 b = 0,908	0,935	a = 0,0002 b = 4,382	0,955	a = 109,076 b = -687,573	0,919	a = 199,413 b = -0,083 c = 0,025 · 10 <sup>-3</sup>	0,943
Szybową ceglana o bardzo długim czasie eksploatacji przykład I	a = 0,089 b = -88,657	0,964	a = 1,608 b = 0,0004	0,970	a = 0,0006 b = 3,184	0,978	a = 210,770 b = -1512,215	0,941	a = 85,125 b = -0,054 c = 0,028 · 10 <sup>-3</sup>	0,964
Szybową-cegłana o bardzo długim czasie eksploatacji przykład II	a = 0,028 b = 8,512	0,952	a = 0,782 b = 0,174	0,941	a = 0,000 b = 3,388	0,972	a = 56,442 b = -360,976	0,908	a = 71,609 b = -0,032 c = 0,014 · 10 <sup>-3</sup>	0,952
Szybową betonowa, betonity Ess2 marki 200	a = 0,072 b = 136,550	0,944	a = 1,939 b = 0,000	0,961	a = 0,001 b = 2,936	0,966	a = 270,926 b = -2091,560	0,935	a = 246,388 b = -0,132 c = 0,027 · 10 <sup>-3</sup>	0,944
Betonowa marki 200	a = 0,278 b = -898,601	0,878	a = 10,667 b = 0,000	0,937	a = 0,003 b = -6,297	0,940	a = 979,056 b = -7914,364	0,873	a = 9789,290 b = -5,757 c = 0,851 · 10 <sup>-3</sup>	0,878
Betonowa marki 250	a = 0,364 b = -1178,253	0,869	a = 6,755 b = 0,000	0,870	a = 0,002 b = -1,491	0,873	a = 1372,092 b = 11102,880	0,866	a = 19372,313 b = -10,524 c = 1,441 · 10 <sup>-3</sup>	0,869
Betonowa marki 300	a = 0,226 b = -622,895	0,911	a = 3,330 b = 0,000	0,924	a = 0,001 b = 2,197	0,927	a = 874,597 b = -6974,367	0,907	a = 6596,308 b = -3,481 c = 0,475 · 10 <sup>-3</sup>	0,911
Szybowo-betonowa marki 200	a = 0,204 b = -604,152	0,897	a = 5,747 b = 0,000	0,945	a = 0,002 b = -1,022	0,948	a = 721,793 b = 5777,859	0,890	a = 2499,495 b = -1,543 c = 0,245 · 10 <sup>-3</sup>	0,897
Szybowo-betonowa marki 350	a = 0,307 b = -922,319	0,886	a = 3,981 b = 0,000	0,929	a = 0,001 b = 1,554	0,938	a = 1173,605 b = -9427,367	0,872	a = 4807,617 b = -2,639 c = 0,377 · 10 <sup>-3</sup>	0,887

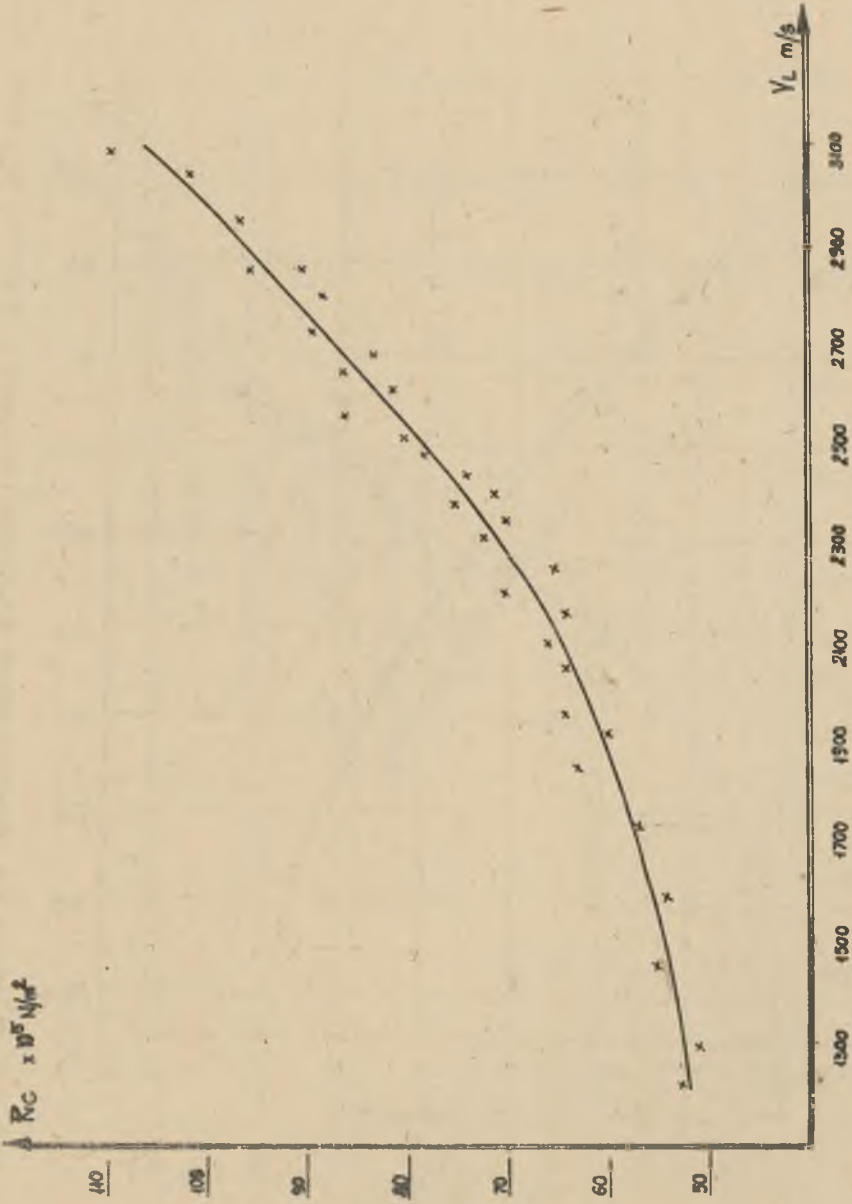


Rys. 7. Krzywe skalowania dla obudów rurowych ceglanych wykonanych z cegły:  
• klasy 150, x klasy 250, klasy 350





Rys. 8. Krzywa skalowania dla górniczych obudów murowanych ceglanych o drugim okresie eksploatacji (przykład I)



rys. 9. Krzywe skalowania dla górniczych obudów ceglanych o bardzo długim okresie eksploatacji (przykład II)



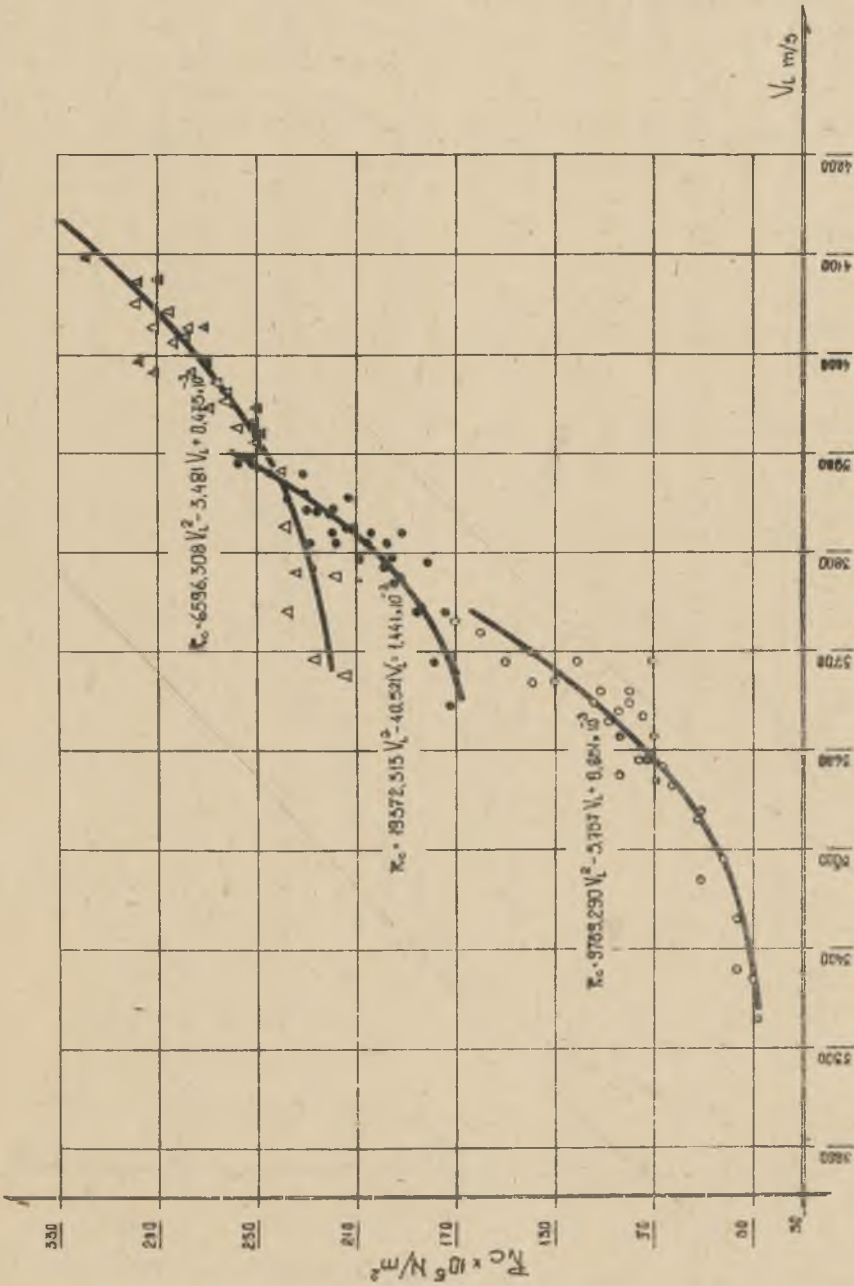
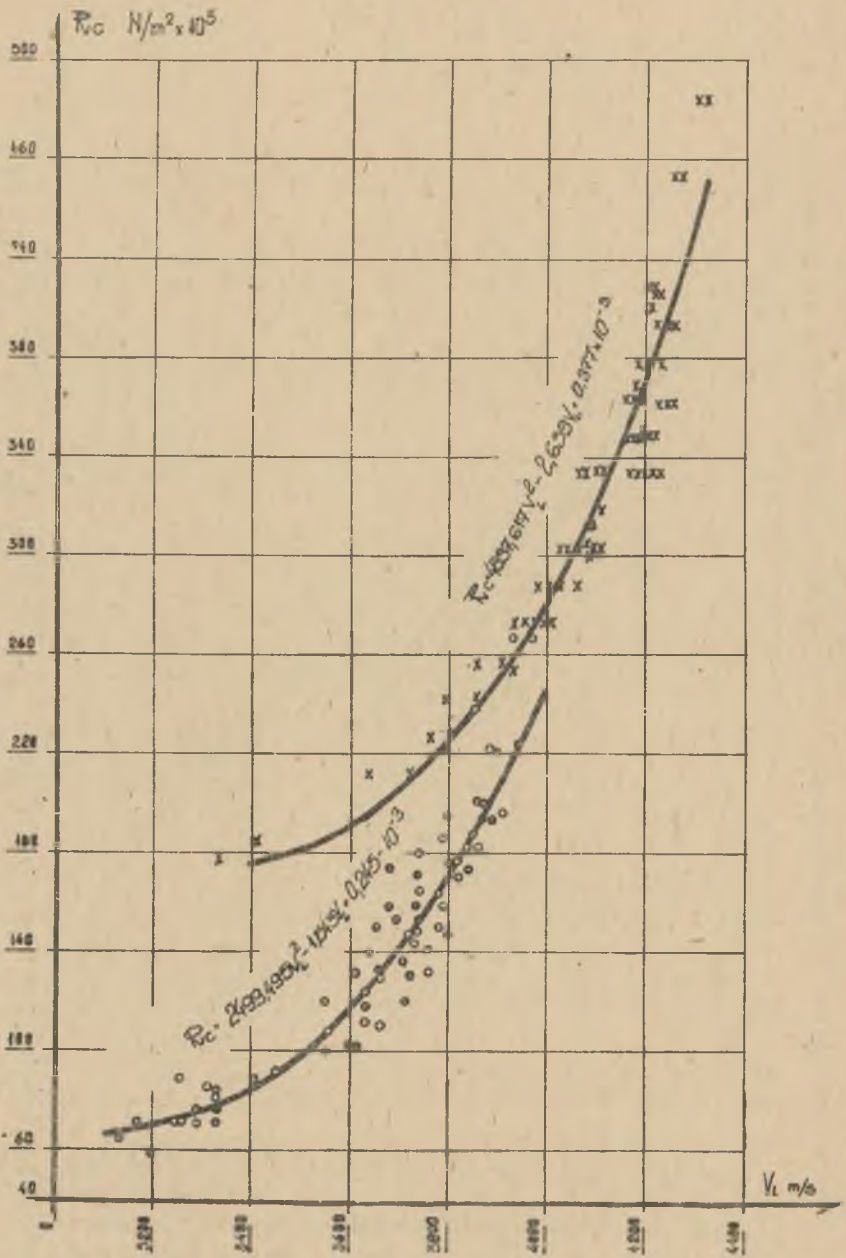


Рис. 11. Кривые скалирования для обудов бетонowych марек 200, x 250, Δ 300





Rys. 12. Krzywe skalowania dla szybowych obudów betonowych marek 200 i 350

jako postać krzywej skalowania dla wszystkich rodzajów murowych obudów górniczych. Uzyskane dla tego typu równania współczynniki korelacji mieszczą się w zakresie od 0,865 do 0,952 (tablica 13). Wielkości te świadczą o istnieniu ścisłego statystycznego związku pomiędzy  $R_c$  i  $V_L$  dla równania w postaci parabolicznej.

Na rysunkach od 7-12 przedstawiono rozkład punktów pomiarowych i krzywe skalowania według funkcji parabolicznej dla badanych górniczych obudów murowych.

#### 4. ZASTOSOWANIE ULTRADŹWIĘKOWEJ METODY PROPAGACJI POŚREDNIEJ DO POMIARÓW DORAŻNEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH

W rejonie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego istnieje konieczność utrzymania szeregu starych, liczących kilkadziesiąt lat, szybów. Stan techniczny obudowy w tak długim okresie eksploatacji uległ niejednokrotnie znacznemu pogorszeniu, co może stwarzać zagrożenie dla stateczności rury szybowej. Wynik stąd problem kontroli wytrzymałości obudowy rury szybowej, co pozwala na racjonalne projektowanie i stosowanie odpowiednich przedsięwzięć technicznych dla poprawy stanu technicznego obudowy. Zapotrzebowanie górnictwa na nieniszczące badania wytrzymałości obudów szybowych w większości przypadków dotyczących starych szybów, a więc wyrobisk wykonanych przeważnie w obudowie murowej - ceglanej.

Przedstawione poniżej wyniki pomiarów wytrzymałości dotyczą szybów wykonanych w obudowie murowej ceglanej, co jest związane ze stosowaniem ultradźwiękowej metody propagacji pośredniej.

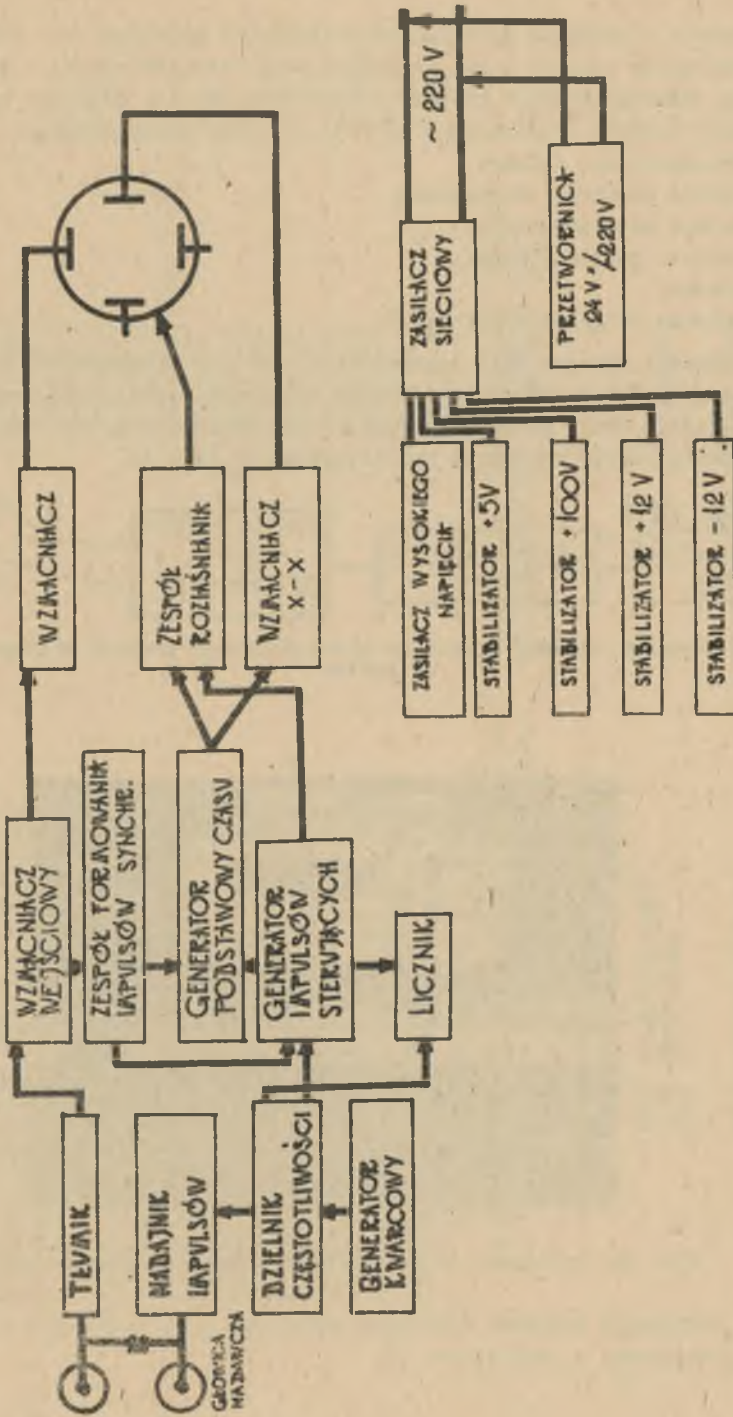
##### 4.1. Elektroniczna aparatura ultradźwiękowa do nieniszczących pomiarów wytrzymałości obudowy w warunkach budownictwa szybowego

Jak wynika z rozdziału 3.2.3.3 stosowanie metody propagacji pośredniej uwarunkowane jest dysponowaniem bardzo czułą elektroniczną aparaturą do generacji i pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy, jest to spowodowane faktem, że niewielka tylko część energii przesyłana jest w płaszczyźnie głowica nadawcza - głowica odbiorcza. Jest to więc pierwszy warunek, jaki musi spełnić aparatura do generacji i pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej w obudowie szybu.

Realizacja nieniszczących badań wytrzymałości obudów w warunkach budownictwa szybowego narzuca szereg dodatkowych warunków, które musi spełnić elektroniczna aparatura pomiarowa, a więc:

- jednoznaczny i szybki odczyt czasu przejścia fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy,
- możliwość baterijnego zasilania aparatury,
- niezawodność pracy w warunkach dużej wilgotności powietrza oraz odporność na wstrząsy,
- możliwość pomieszczenia całości układu pomiarowego w przesuwającej się w szybie klatce wyciągu.



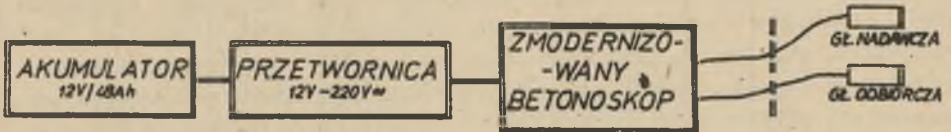


Rys. 13. Schemat blokowy zmodernizowanego betenoskopu

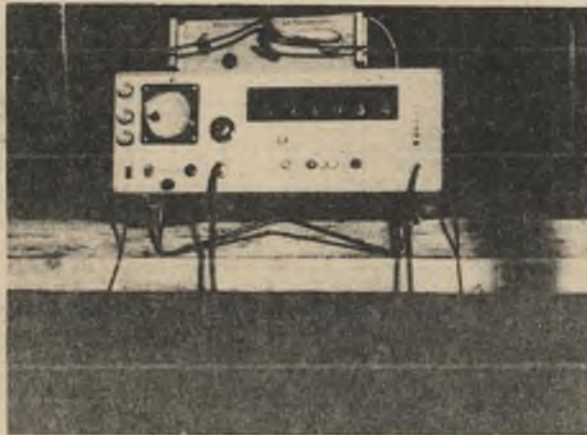
W oparciu o ustalone założenia konstrukcyjne aparatury do generacji i elektronicznego pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej opracowano prototyp, którego schemat blokowy przedstawia rys.13. Prototyp ten został wykonany w oparciu o betonoskop BI-12R, w którym zaprojektowano i wykonano następujące nowe układy:

- generatora impulsów sterujących,
- generatora podstawy czasu,
- wzmacniacza podstawy czasu,
- odbiornika,
- wzmacniacza odchylenia pionowego.

Niezależnym układem jest przetwornica zasilana akumulatorem o napięciu 12 V i pojemności 48 Ah, umożliwiająca zasilanie betonoskopu prądem zmiennym o napięciu 220V. Układ pomiarowy aparatury stosowany do badań wytrzymałościowych obudów szybowych przedstawiono na rys. 14.



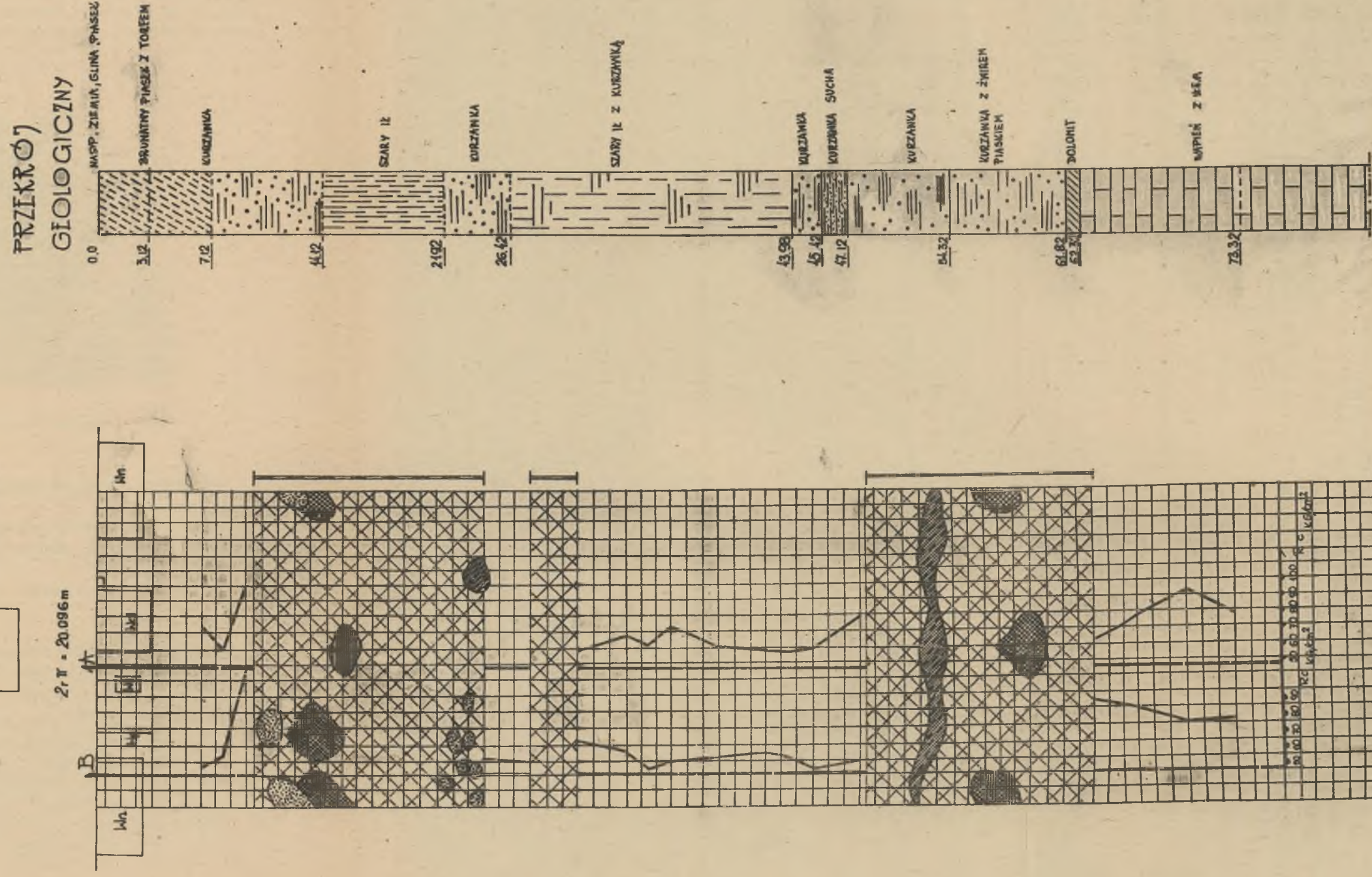
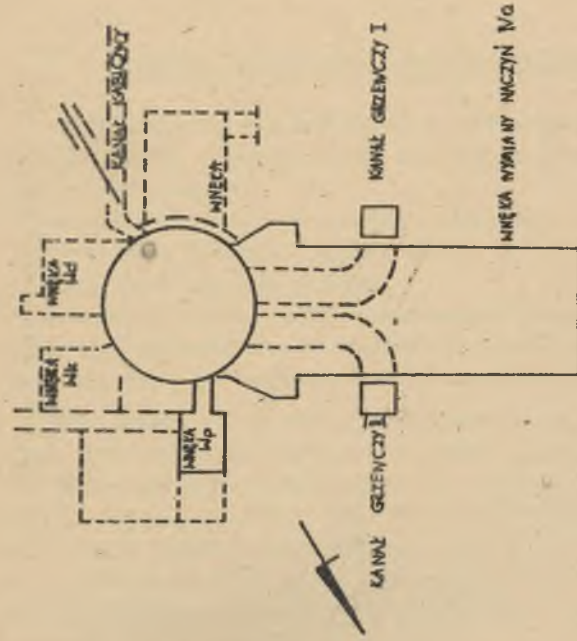
Rys. 14. Schemat blokowy układu do nieniszczącego pomiaru wytrzymałości obudowy szybów



Rys. 15. Aparatura pomiarowa zamontowana na głowicy klatki

Dla realizacji pomiarów aparatura montowana jest na głowicy klatki wyciągu pracującego w szybie (rys. 15).





RYS. 17. WYRZYMAŁOŚĆ OBUDOWY SZYBU .Z.

- LEGENDA:**
- OBWARZE WYANGIĄCE ZABEZPIECZENIA
  - OBWARZE ZABEZPIECZONE PRZESCIENIAMI WZDŁUŻNYMI NA SOBIE
  - OBWARZE ZABEZPIECZONE PRZESCIENIAMI SPODZIEMNI I SINTET. A.A.
  - ZABEZPIECZENIE OŚMIERZKOWE ZWIĄZANE Z NIECZYN. GRUNTU
  - WYCIEKI WODY
  - SĄCZENIE WODY
  - WSTYKI OBJAWIĄZ
  - OBWARZE SZCZELINOW.



W celu jednoznacznego i szybkiego ustalenia odległości pomiędzy głowicami pomiarowymi wykonano przymiar, który znacznie ułatwia pracę w warunkach pomiarów w szybach (rys. 16); odległości pomiarowe pomiędzy głowicami wynoszą 8; 10,5; 13; 14,5 cm.



Rys. 16. Ustawienie głowic pomiarowych

#### 4.2. Metodyka prowadzenia pomiarów wytrzymałości obudów szybowych

Ultradźwiękowe pomiary doraźnej wytrzymałości murowej obudów szybowych realizowane są w wytypowanych strefach pomiarowych, najczęściej znajdujących się w rejonie:

- trudnych warunków hydrogeologicznych (np. kurzawki, odcinki o dużym dopływie wody do szybu, uskoki itp.),
- korozyjnych ubytków obudowy,
- deformacji obudowy (np. spowodowanych wpływami eksploatacji),
- głowicy szybowej ze szczególnym uwzględnieniem odcinka głębokościowego, odpowiadającego posadowieniu fundamentów wieży szybowej.

Wytypowanie stref pomiarowych dokonuje się na podstawie: analizy profilu litologicznego skał rejonu szybu, dokumentacji technicznej szybu oraz oględzin stanu technicznego rury szybowej. Pomiary ultradźwiękowe realizuje się na liniach pomiarowych, usytuowanych wzdłuż osi szybu (rys. 17). Ilość linii pomiarowych zależy od średnicy szybu oraz możliwości bezpiecznego dostępu do jego obudowy. W trakcie realizacji pomiarów pomiędzy głowicami a powierzchnią obudowy występuje warstwa powietrza, która silnie wytłumia sygnał ultradźwiękowy, niejednokrotnie uniemożliwiając

jego rejestracje. Dla wyeliminowania tego zjawiska stosowano pokrywanie obudowy w miejscach pomiarów warstwą towotu.

Bardzo często powierzchnia obudowy murewej szybu pokryta jest naciekami, np. węglanowo-wapiennymi o grubości dochodzącej do 10-15 cm. oraz występującymi lokalnie złuszczeniami jej powierzchni na głębokości 1-5 cm. Dla uzyskania wiarygodnych wyników pomiarów, należy usunąć w punktach pomiarowych zarówno złuszczenie, jak i nacieki.

W trakcie pomiarów stosuje się głowice pomiarowe o częstotliwości pracy 250 kHz, a zmianę odległości pomiędzy głowicami realizowano za pomocą przymiaru (rys. 16) i odległości, te wynoszą kolejno 8; 10,5; 13; 14,5 cm. (Dla każdego punktu pomiarowego określono średnią prędkość fali ultradźwiękowej na podstawie czterech wartości prędkości obliczonych z kolejnych odczytów czasu przejścia fali odpowiadających kolejnym odległościom pomiędzy głowicami pomiarowymi). Wartość średnia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej, określona dla danego punktu pomiarowego, służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy w tym punkcie z odpowiedniej krzywej skalowania.

#### 4.3. Interpretacja wyników pomiarów doraźnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych

Uzyskane metodą ultradźwiękową wartości doraźnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych odnoszą się do określonych punktów pomiarowych. Dysponując odpowiednio dużą liczbą wyników pomiarowych, można w oparciu o metody statystyki matematycznej odnieść wyniki badań do całej konstrukcji obudowy.

Przedstawione to zostanie na przykładzie szybu "Z". Szyb "Z" jest szybem wydobywczo-materiałowym o średnicy 6,2 m, wykonany w obudowie murewej ceglanej. W bezpośrednim sąsiedztwie szybu warstwy nadkładu zalegają do głębokości około 100 m a reprezentowane są przez utwory czwartorzędowe i triasowe. Czwartorzęd reprezentowany jest przez górny kompleks utworów wodolodowcowych i dolny kompleks utworów morenowych. Utwory wodolodowcowe sięgają do głębokości ok. 14,1 m i wykształcone są w postaci piasków, żwirów i glin pylastych. W profilu przeważają piaski i żwiry, zalegające na odcinkach głębokościowych 3,1-7,1 m i ok. 8,8-14,1 m.

Dolna warstwa piaszczysto-żwirowa jest zawodniona, a zwierciadło piezometryczne poziomu napiętego ustala się prawdopodobnie na głębokości ok. 5,8 m. Na odcinku głębokościowym 14,1-61,8 m w profilu szybu "Z" zalegają utwory morenowe. W profilu tych utworów przeważają zdecydowanie gliny ciężkie piaszczyste i pylaste o konsystencji twaroplastycznej. Utwory sypkie występują wśród tych glin w postaci dwóch większych warstw na odcinkach prawdopodobnie od ok. 26,4-30,0 m górna warstwa i 47,1 m - 54,3 m dolna warstwa.

Górna warstwa żwirów jest zawodniona, a zwierciadło wody poziome napiętego ustala się prawdopodobnie na głębokości ok. 11,5 m. Dolna warstwa piaszczysto-żwirowa jest zawodniona tylko w części spągowej, a swobodne zwierciadło wody ustala się na głębokości ok. 51,4 m. Poniżej czwartorzędu zalegają utwory retu. Są to bardzo silnie zwietrzałe i skawernowane dolimity i wapienie dolomityczne.

Utwory te są także zawodnione, a napięte zwierciadło wody ustala się na głębokości ok. 55 m od powierzchni terenu.

W związku z występowaniem zagrożenia kurzawkowego oraz awarią bliźniaczego szybu kopalnia przystąpiła do zabezpieczenia obudowy z zastosowaniem szczelnego płaszcza stalowego, zamontowanego na obudowy szybu. Dokładne rozmieszczenie tych zabezpieczeń przedstawia rys. 17. Badania doraźnej wytrzymałości obudowy przeprowadzono na odcinku od zrębu do 73,0 m na dwóch liniach pomiarowych A i B zaznaczonych na rys. 17. Dla każdego punktu pomiarowego określono średnią prędkość fali ultradźwiękowej, na podstawie czterech wartości prędkości obliczono z kolejnych odczytów czasów przejścia fali na zmiennej odległości pomiędzy głowicami pomiarowymi. Wartość średnia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z krzywej skalowania  $R_c = 71,609 V_L^2 - 0,032 V_L + 0,014 \cdot 10^{-3}$ , o współczynniku korelacji  $S_{Y/X} = 0,95$ , przedstawionej na rys. 9. Przebieg i wyniki badań ultradźwiękowych przedstawiono w tabelicy 14. Pomierzone wartości doraźnej wartości na ściskanie obudowy szybu "Z" wykazują zróżnicowanie w zakresie od  $R_{c \min} = 51 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  do  $R_{c \max} = 112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Ocenę statystyczną wytrzymałości [8], [5], obudowy szybu "Z" dokonano w oparciu o następujące parametry:

- średnią wytrzymałość na ściskanie  $R_c$

$$\bar{R}_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_{c_i}}{n}, \quad (21)$$

- dolną graniczną wytrzymałość na ściskanie  $R_{c \min} \cdot g$

$$R_{c \min} \cdot g = \bar{R} - t_{\min} G(R_c), \quad (22)$$

gdzie:

$t_{\min}$  - współczynnik ufności zależny od rodzaju przyjętego rozkładu wytrzymałości oraz założonego prawdopodobieństwa P przekroczenia wartości  $R_{\min}$  [8].

Dla przyjętego przez stałą Komisję Budownictwa RWPG [5] rozkładu normalnego wytrzymałości i założenia, że nie więcej niż 5% wartości może znaleźć się poniżej  $R_{c \min} \cdot g$ ,  $t_{\min} = 1,65$ .



Wyniki pomiarów wytrzymałości obudowy szybu "Z"

Nr dźwi- gara	Linia pomiarowa	Prędkość fali $V_L$ m/s	Średnia prędkość $V_L$	$R_c$ $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup>	Uwagi
1	2	3	4	5	6
1	A	2466 2400 2321 2323	2377	72	
	B	1114 1240 1131 1171	1164	51	
1 1/2	A	1579 1544 1604 1648	1594	58	
	B	1538 1544 1666 1482	1557	57	
2	A	2984 2088 3330 3061	3115	99	
	B	3162 3387 3330 3280	3289	112	
7	A				Obmurze niedost. (b. grube na- cieki)
	B	1552 1420 1470 1500	1485	56	



1	2	3	4	5	6
8	A				Obmurze niedost. (b. grube nacieki)
	B	1276 1242 1218 1300	1259	54	Duże tłu- mienie fali
9	A	1560 1610 4490 1632	1573	57	
	B	2325 2360 2164 2194	2260	67	Duże tłu- mienie fali
10	A	2169 2213 2092 2280	2188	66	
	B	1951 1810 1992 2018	1942	61	
10 <sup>1</sup>	A	1904 1888 1940 1898	1907	61	
	B	1551 1438 1477 1562	1507	56	
11	A	2424 2444 2310 1318	2374	72	
	B	1451 1478 1444 1415	1447	55	
12	A	1851 1790 1746 1882	1817	60	
	B	1585 1625 1681 1615	1626	58	

1	2	3	4	5	6
13	A	1577 1416 1666 1546	1551	57	
	B	1857 1843 1781 1794	1818	60	
13 $\frac{1}{2}$	A	1585 1501 1558 1612	1564	57	
	B	1680 1721 1625 1595	1635	58	
14	A	1675 1787 1733 1685	1720	59	
	B	1128 1060 1160 1111	1114	50	
15	A	2666 2625 2549 2459	2574	79	
	B	2666 2625 1428 1463	1462	55	
20	A	2056 1966 2124 1986	2040	64	
	B	3011 2961 2826 2830	2907	91	
21	A	2501 2485 2608 2630	2556	78	
	B	2730 2690 2708 2698	2706	86	

1	2	3	4	5	6
22	A	2857 2916 2954 2762	2872	94	
	B	2524 2584 2421 2480	2502	77	
23	A	2524 2518 2666 2579	2571	78	
	B	2588 2560 2581 2507	2559	78	

$G(R_c)$  - odchylenie standardowe wytrzymałości,

$$G(R_c) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{c_i} - \bar{R}_c)^2}{n}}, \quad (23)$$

- współczynnik zmienności wytrzymałości  $\nu(R_c)$

$$\nu(R_c) = \frac{G(R_c)}{\bar{R}_c} \cdot 100\%, \quad (24)$$

- współczynnik jednorodności  $K_{R_c}$

$$K_{R_c} = 1 - t \min \nu R_c. \quad (25)$$

Obliczone parametry wynoszą odpowiednio:

$$\bar{R}_c = 67,44 \times 10^5 \text{ N/m}^2,$$

$$G(R_c) = 15,38 \times 10^5 \text{ N/m}^2,$$

$$R_c \min \cdot g = 42,04 \times 10^5 \text{ N/m}^2,$$

$$\nu R_c = 22,8\%,$$

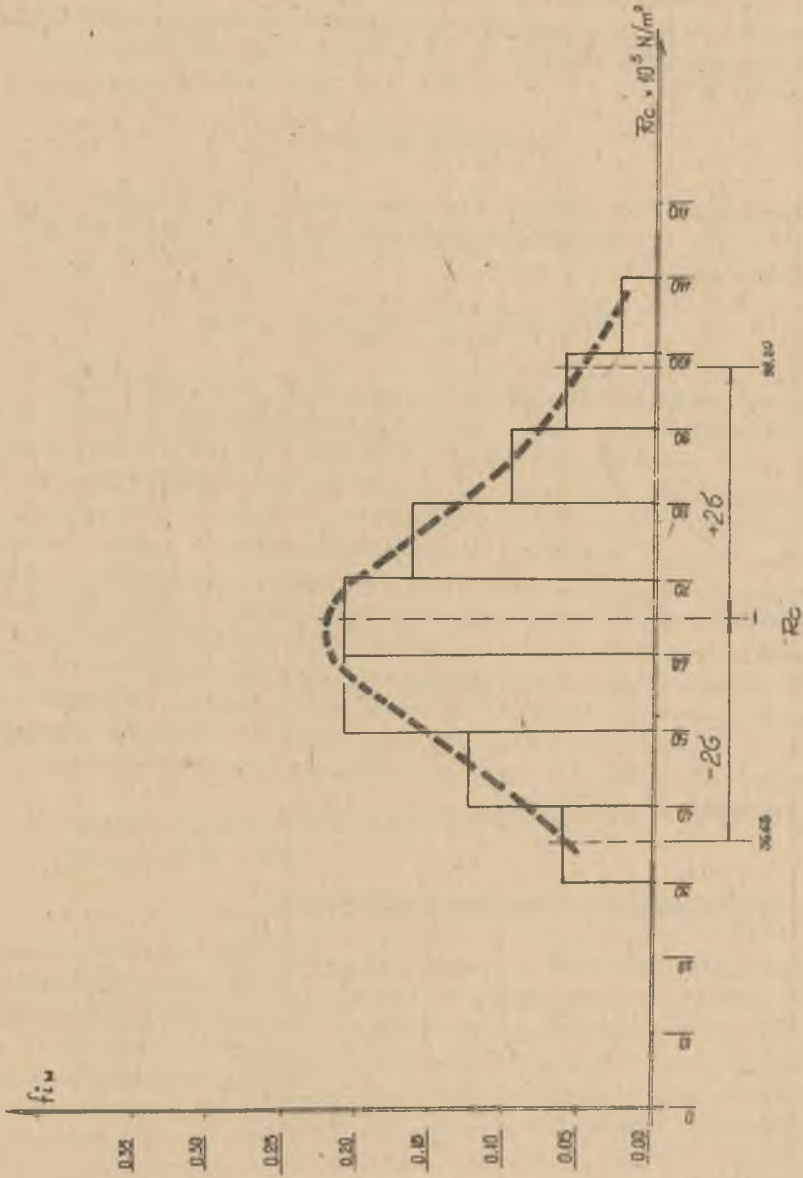
$$K_{R_c} = 0,63.$$

Tablica 15

Szereg rozdzielczy wyników pomiarów wytrzymałości obudowy szybu "Z"

Lp.	Przedział klasowy wytrzymałości $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	Liczba wyników w klasie $n_1$	Częstość względna wyników $f(1)$	Wartości interpolowane				$f(x) w_2$
				$n(1) w_1$	$f(1) w_1$	$n(1) w_2$	$f(1) w_2$	
1	30-40	0	0,000	0	0,000	2	0,062	<p style="text-align: center;">U w a g i</p> $R_{c \text{ max}} = 112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $R_{c \text{ min}} = 51 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $R_{c/\text{srednie}} = 67,44 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $6 R_{c}  = 15,38 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $f_1 = \frac{n_1}{n}$ gdzie: n - całkowita liczba wyników $n_{iW} = \frac{n_{i-1} + n_i + n_{i+1}}{3}$
2	40-50	0	0,000	5	0,151	4	0,125	
3	50-60	15	0,444	7	0,212	7	0,218	
4	60-70	7	0,205	10	0,303	7	0,218	
5	70-80	7	0,205	5	0,151	6	0,187	
6	80-90	1	0,029	4	0,121	3	0,094	
7	90-100	3	0,088	1	0,030	2	0,062	
8	100-110	0	0,000	1	0,030	1	0,031	
9	110	1	0,029	0	0,000	0	0,000	





Rys. 18. Wykres zależności wytrzymałości obudowy murowej szybu "Z"

Na podstawie szeregu rozdzielczego (tablica 15) wyników wykreślono histogram (rys. 18), charakteryzujący prawdopodobny rozkład wartości wytrzymałości obudowy. Największą częstość występowania wyników stwierdza się w zakresie wytrzymałości od  $52,06 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  do  $82,8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , tj. dla przedziału  $\bar{R}_c \pm 6$ :

$$\bar{R}_c - 6 < R_c < \bar{R}_c + 6.$$

Dla przyjmowanego powszechnie w tego typu analizach przedziału  $\bar{R}_c \pm 26$ , w którym określa się z prawdopodobieństwem równym 0,95 możliwość występowania wyników, tj. dla warunku

$$P(\bar{R}_c - 26 < R_c < \bar{R}_c + 26) = 0,95,$$

wytrzymałość materiału obudowy będzie określona zakresem dla  $36,68 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  do  $98,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Zakres ten zaznaczono na rys. 18. Dopuszcza się zatem możliwość występowania w obudowie miejsc o wytrzymałości około  $37 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , przy czym, jak przedstawiono na rysunku, częstość występowania takich miejsc jest niewielka -  $f_1 < 0,07$ .

Zarówno wskaźnik zmienności wytrzymałości obudowy, jak i odchylenie standardowe wykazują, że jednorodność konstrukcji jest wysoka w porównaniu z innymi badanymi obiektami, jednak niska jest średnia wartość wytrzymałości. Obniżenie średniej wytrzymałości konstrukcji obudowy może być spowodowane silną agresją siarczanową, wywołaną występowaniem nadmiernej ilości jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  (ok. 839 mg/l) oraz silną agresją kwasowo-węglową, wywołaną obecnością agresywnego  $\text{CO}_2$  (ok. 33 mg/l). Agresywny charakter wody przejawia się głównie w stosunku do zaprawy cementowo-wapiennej, stosowanej w konstrukcji obudowy.

#### 4.4. Sprawdzenie stateczności obudowy szybu

Sprawdzenie stateczności obudowy szybu sprowadza się do obliczenia wymaganej grubości obudowy, przy uwzględnieniu istniejących warunków, tj. ciśnienia ze strony górotworu na obudowę i rzeczywistej - określonej metodą nieniszcząca - wytrzymałości materiału obmurza na ściskanie. Sposób obliczenia wymaganej grubości obudowy określa norma BN-72/0434-03.

Przykładowo, dla obudowy z cegły lub betonitów grubość oblicza się ze wzoru

$$d = a \left( \sqrt{\frac{K}{K - p} \sqrt{3}} - 1 \right),$$

w którym:

- a - promień szybu w świetle obudowy,
- d - grubość obudowy,
- p - obciążenie obliczeniowe górotworu na obudowę szybu,
- K - naprężenie dopuszczalne na ściskanie muru z cegły lub betonitu.

$$K = \frac{R_{c \min} \cdot g}{S}$$

gdzie:

$R_{c \min} \cdot g$  - dolna graniczna wytrzymałość na ściskanie,

$$R_{c \min} \cdot g = \bar{R} - t_{\min} \cdot \sigma R_c$$

$\bar{R}$  - średnia wytrzymałość na ściskanie określona metodą nieniszczącą,  
 $t_{\min}$  - współczynnik ufności zależny od rodzaju przyjętego rozkładu wytrzymałości oraz założonego prawdopodobieństwa P, przekroczenia wartości  $R_{\min}$ .

Współczynnik ufności  $t_{\min}$  dla rozkładu normalnego wytrzymałości wynosi 1,65.

$R_c$  - odchylenie standardowe wytrzymałości,

S - współczynnik bezpieczeństwa zależny od warunków hydrogeologicznych ( $S = 2,0$  lub  $S = 2,5$ ).

Obliczoną grubość porównuje się z grubością rzeczywistą obudowy na analizowanym odcinku szybu.

#### 4.5. Analiza wyników pomiarów wytrzymałości górniczych obudów szybowych w rejonie GOP

W Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej prowadzono od szeregu lat badania wytrzymałości obudów szybowych szybów na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Wyniki tych badań oraz parametry statystyczne doraźnej wytrzymałości na ściskanie zestawiono w tablicy 16. Badania były prowadzone w szybach o następujących rodzajach obudowy szybowej: murowa-ceglana, betonowa i betonitowa. Największą liczbę wśród przebadanych szybów stanowią szyby o obudowie murowo-ceglanej, która występuje najczęściej w szybach o długim okresie eksploatacji. W szybach nowych o stosunkowo krótkim okresie eksploatacji występuje również obudowa betonowa lub betonitowa, czasem występuje w jednym szybie kilka rodzajów obudowy.

Przedstawione w tablicy szyby charakteryzują się znaczną rozpiętością okresu ich eksploatacji. Najstarszym zgłębnym szybem przedstawionym w





cd. tablicy 46

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	Julian KWK Julian	1940	węsyła- czyłowa- wytłocz	murawa- cegłana	okrągły	187,3	229,0	122,00	24,86	0,79	13,3	348,2	-	Brak wykrycia eksploatacji sztybu poza wyobceniakami połączki
12	Jan II KWK Białobrzegi	1900	wytłoczony	murawa- cegłana	okrągły	139,72	190,0	77,00	20,91	0,34	20,7	92,02	Stwierdzono ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%	Eksploatacja prowadzona w filarach ochronnych sztybu
13	Jan II KWK Białobrzegi	1910	śladowa- wytłoczony- arterialny	murawa- cegłana	okrągły	134,67	190,0	42,00	49,91	0,30	37,06	51,67	-	Brak eksploatacji w filarach ochronnych sztybu
14	Janusz KWK Halemba	1954	węsyła- czyłowa	murawa- cegłana	okrągły	202,87	307,00	82,00	45,93	0,43	22,46	128,09	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 105,6 mg/l, obecnie nie stwierdzono eksploatacji	Brak przedpokobitwy znajdującej się w sztybie. Wykrycie ślady eksploatacji w 1951
15	Janusz KWK Halemba	1960	wytłoczony	murawa- cegłana	okrągły	110,55 119,06	210,00 287,00	63,00 102,00	46,45 13,10	0,53 0,22	21,33 11,00	70,66 97,45	-	Eksploatacja prowadzona w filarach ochronnych sztybu
16	Grzegorz II KWK Halemba	1960	arterialno- wytłoczony	betonowa	okrągły	161,47	256,00	122,00	21,25	0,78	13,22	126,24	-	Eksploatacja prowadzona w filarach ochronnych sztybu
17	Grzegorz II KWK Halemba	1960	wytłoczony	murawa- cegłana	okrągły	235,86 157,93	317,00 271,00	84,00 74,00	46,00 20,06	0,45 0,25	21,07 24,4	116,64 97,93	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 524,2 mg/l	Eksploatacja prowadzona w filarach ochronnych sztybu
18	Grzegorz I KWK Halemba	1963	wytłoczony	murawa- cegłana	okrągły	222,04	300,00	123,00	42,1	0,69	18,96	152,58	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 145 mg/l, obecnie nie stwierdzono eksploatacji	Eksploatacja prowadzona w filarach ochronnych sztybu
19	Stanisław KWK Białobrzegi	1966	wytłoczony	betonowa	okrągły	130,36	272,00	0,00	99,7	0,24	45,9	31,66	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 133,5 mg/l	Brak eksploatacji w filarach ochronnych sztybu
20	Zdzisław KWK Białobrzegi	1968	węsyła- czyłowa	murawa- cegłana	okrągły	76,94	186,0	46,0	24,21	0,65	21,25	70,0	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 500-550 mg/l, obecnie nie stwierdzono eksploatacji	Stare eksploatacje w filarach ochronnych sztybu
21	Stanisław I KWK Białobrzegi	1968	węsyła- czyłowa	murawa- cegłana	okrągły	123,5	301,0	76,0	21,3	0,72	17,24	68,4	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 307 mg/l	Brak wykrycia eksploatacji
22	Stanisław KWK Białobrzegi	1878	wytłoczony	murawa- cegłana	bełkowany	119,36	215,00	76,0	20,27	0,61	23,5	72,67	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 638,2 mg/l	Eksploatacja w filarach ochronnych sztybu
23	Stanisław KWK Białobrzegi	1934	wytłoczony	murawa- cegłana	bełkowany	147,68	220,00	60,0	46,06	0,49	31,2	71,60	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 1927 mg/l	Stare eksploatacje w filarach ochronnych sztybu (zakabliwił)
24	Stanisław KWK Białobrzegi	1980	wytłoczony	murawa- cegłana	bełkowany	80,32	179,0	36,0	20,28	0,42	35,3	31,90	Ślady starożytności. Zawartość jądrowa 50%. Wynosiła 1147 mg/l	Eksploatacja w filarach ochronnych sztybu

tablicy jest szyb "Bartosz" KWK Katowice, który został zgłębiony w 1834 r. a najmłodszym szyb "Szczepan" KWK Sosnowiec, zgłębiony w 1966 r.

Można by sądzić, że największą wytrzymałość na ściskanie oraz najlepsze parametry statystyczne powinny posiadać szyby o krótkim okresie eksploatacji. Jednak z przedstawionych wyników wytrzymałościowych oraz parametrów statystycznych poszczególnych szybów wynika, że powyższe wnioski mogą być błędne. Oczywiście istnieją szyby stare o bardzo małej wytrzymałości na ściskanie i niekorzystnych parametrach statystycznych. Do nich należą np.: szyb "Józef" KWK Bobrek  $R_{c \min} = 51,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , a  $\bar{R}_c = 67,44 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , szyb "Łokietek" KWK Mysłowice  $R_{c \min} = 46 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , a  $\bar{R}_c = 76,94 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ .

Istnieją jednak i szyby nowe, np. szyb "Szczepan" KWK Sosnowiec, rok założenia 1966, którego  $R_c = 130,36 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , jednak w obudowie szybu istnieją lokalnie miejsca skorodowane, charakteryzujące się brakiem wytrzymałości mechanicznej.

Pomierzone wartości wytrzymałości obudów szybowych poszczególnych szybów przedstawionych w tablicy 16 wykazują znaczne zróżnicowanie od wartości minimalnej  $R_{c \min} = 0,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  do wartości maksymalnej  $R_{c \max} = 320 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , przy odchyleniach standardowych wytrzymałości w zakresie  $G(R_c) = 13,10 \times 10^5 \text{ N/m}^2 - 59,7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Przeprowadzone pomiary wykazują, że obudowy murowo-ceglane charakteryzują się niższą od konstrukcji betonowych jednorodnością, o czym świadczą wysokie wartości współczynnika zmienności wytrzymałości  $\sigma_{(R_c)} = 13,3 - 45,9\%$ . Duże zróżnicowanie współczynnika zmienności wytrzymałości  $\sigma_{(R_c)}$  dla obudów murowych ceglanych jest spowodowane właściwościami materiału głównie cegły [10]. Jak wykazano [10], cegły charakteryzują się dużym współczynnikiem zmienności prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej  $\sigma_{(v_L)} = 9,7\% - 22,0\%$ . Współczynnik ten maleje wraz ze wzrostem klasy cegły. Ustalono, że o niejednorodności obudów murowych - ceglanych szybów decyduje niejednorodność cegieł stosowanych do wykonania obudowy, gdyż analogiczne współczynniki zmienności prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej dla zapraw wynoszą  $\sigma_{(v_L)} = 3,0 - 4,0\%$ . W literaturze [5], [8] przedstawiono klasyfikację jednorodności betonu w zależności od współczynnika zmienności  $\sigma_{(R_c)}$ , którą przytoczono w tablicy 17. Podjęto zatem próbę klasyfikacji jednorodności szybowych obudów murowych - ceglanych, którą przytoczono w tablicy 18. W oparciu o powyższą klasyfikację w tablicy 19 zestawiono obliczone współczynniki dla badanych obudów szybowych. Bardzo dobrą jednorodność obudowy posiada 20,8% szybów, dobrą jednorodność 26,6%, dostateczną 2,6% i niską 50% szybów. Duży udział szybów o stwierdzonej niskiej jednorodności i jednocześnie niskiej wartości średniej doraźnej wytrzymałości na ściskanie materiału obudowy uwidacznia, jak wiele obiektów narażonych jest na destruktywny wpływ środowiska. Względy bezpieczeństwa eksploatacji szybów

nakazują więc prowadzenie nieniszczących badań wytrzymałościowych dla wykrycia i zlokalizowania stref obudowy zagrożonych utratą stateczności, umożliwiając w ten sposób odpowiednio wczesne rozpoczęcie prac profilaktycznych.

Tablica 17

Klasyfikacja jednorodności betonu w zależności od współczynnika jednorodności i współczynnika zmienności WG ITBI

Współczynnik jednorodności $K_{(R_c)}$	Współczynnik zmienności $(R_c)\%$	Jednorodność betonu
powyżej 0,84	poniżej 10	wyborowa
0,75 - 0,84	10 - 15	dobra
0,67 - 0,74	16 - 20	dostateczna
poniżej 0,67	powyżej 20	niska

Tablica 18

Klasyfikacja jednorodności obudowy murowo-ceglanej szybów w zależności od współczynnika jednorodności i współczynnika zmienności

Współczynnik jednorodności $K_{(R_c)}$	Współczynnik zmienności $(R_c)\%$	Jednorodność obudowy ceglanej
powyżej 0,67	poniżej 20	bardzo dobra
0,67 - 0,59	20 - 25	dobra
0,59 - 0,50	25 - 30	dostateczna
poniżej 0,50	powyżej 30	niska

Tablica 19

Zestawienie jednorodności obudów szybowych

Lp.	Nazwa szybu i kopalni	Współczynnik jednorodności $K_{(R_c)}$	Współczynnik zmienności $(R_c)\%$	Jednorodność obudowy
1	2	3	4	5
1	Wyzwolenie I KWK Barbara Chorzów	0,44	33,7	niska
2	S II KWK Siemianowice	0,34	40,1	niska
3	Wit Stwosż KWK Powstańców Sl.	0,27	44,5	niska



1	2	3	4	5
4	Józef KWK Bobrek	0,63	22,8	dobra
5	Mieczysław KWK Pstrowski	0,25	45,9	niska
6	Szyb II KWK Polska	0,69	19,20	b. dobra
7	Anna KWK Sosnowiec	0,41	35,7	niska
8	Wyzwolenie II KWK Barbara Chorzów	0,39	36,9	niska
9	Jadwiga KWK Czerwone Zagłębie	0,60	24,1	dobra
10	Bończyk KWK Rozbark	0,38	37,74	niska
11	Szyb II KWK Gliwice	0,38	37,06	niska
12	Jan II KWK Dębieńsko	0,34	20,7	niska
13	Łokietek KWK Mysłowice	0,65	21,35	dobra
14	Wschodni I KWK Mysłowice	0,72	17,24	b. dobra
15	Sosnowiec KWK Sosnowiec	0,61	23,5	dobra
16	Bartosz KWK Katowice	0,49	31,2	niska
17	Warszawa KWK Katowice	0,42	35,3	niska
18	Julian II KWK Julian	0,79	13,3	b. dobra
19	Szymon KWK Halemba	0,63	22,66	dobra
20	Reymont KWK Andaluzja	0,52	29,39	dosta- teczna
21	Czułów II KWK Murcki	0,78	13,22	b. dobra
22	Grunwald II KWK Halemba	0,65	21,07	dobra
23	Grunwald I KWK Halemba	0,69	18,96	b. dobra
24	Szczepan KWK Sosnowiec	0,24	45,9	niska

## 5. SPOSOBY POPRAWY STATECZNOŚCI OBUDÓW SZYBOWYCH

Podstawowym kierunkiem zabezpieczeń, mających na celu zapewnienie trwałej stateczności obudowy, jest poprawa parametrów technicznych materiału obmurza głównie przez zwiększenie jego wytrzymałości, ograniczenie nasiąkliwości, wypełnienie pustek występujących za obudową szybu, skuteczne wychwytywanie wody spływającej zza obudowy szybu. W szczególnych przypadkach niezbędna jest poprawa parametrów technicznych górotworu otaczającego wyrobisko, np. poprzez stabilizację skał lub ich odwodnienie.

Poprawę stateczności obudowy szybowej można zatem osiągnąć poprzez:

- rekonstrukcję obmurza,
- dodatkowe wzmocnienie rury szybowej,
- wypełnienie pustek pomiędzy obudową a górotworem.

### 5.1. Rekonstrukcja obmurza

#### 5.1.1. Rekonstrukcja obudowy murowej ceglanej

Zabezpieczenie obudowy murowej powinno mieć na celu usunięcie obecnych skutków korozji materiału, jak również zabezpieczenie materiału przed dalszym wpływem czynników agresywnych. Osiągnąć to można przez ograniczenie przepływu wody agresywnej przez materiał obudowy oraz odizolowanie powierzchni obudowy od ściekającej wody. Przy uzupełnieniu ubytków obudowy murowej proponuje się przeprowadzenie szeregu zabiegów, mających na celu poprawienie parametrów technicznych materiału obudowy.

##### 5.1.1.1. Hydrofobizacja cegieł

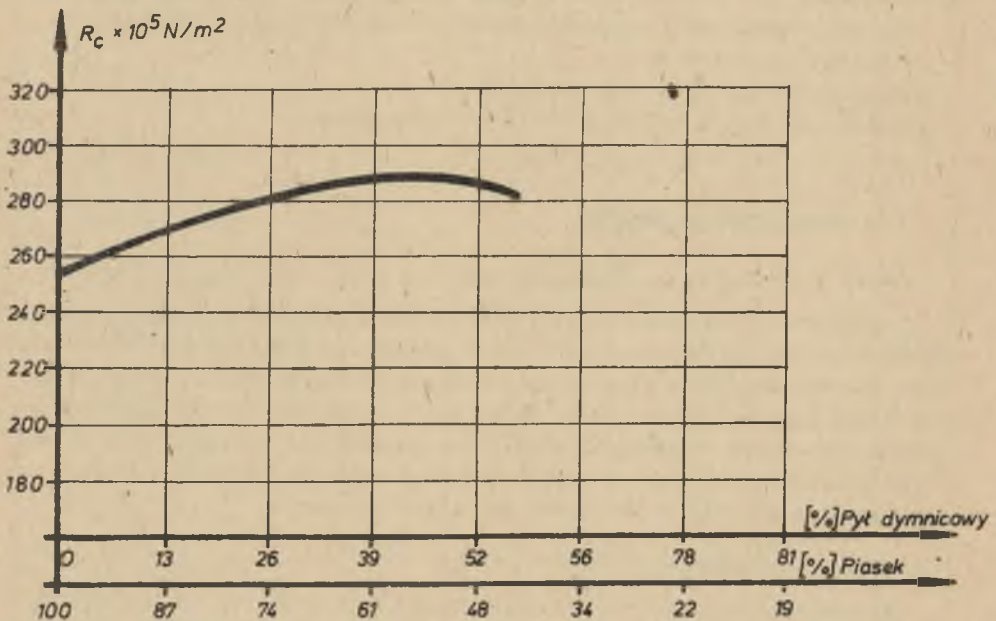
Zmniejszenie nasiąkliwości cegieł wpływa korzystnie na ich odporność przed korozją. W związku z czym, partię cegieł przeznaczoną do uwarunkowania należy poddać kąpeli w roztworze wodnym ahydrosilu sodowego lub potasowego. Roztwór należy sporządzić wg stosunku: 1 część ahydrosilu do 30 części wody. Producentem ahydrosilu są Zakłady Silikonów w Nowej Sarzynie k. Leżajska. Efektem kąpeli cegieł w roztworze ahydrosilu jest ich hydrofobizacja, co prowadzi do ograniczenia nasiąkliwości.

### 5.1.1.2. Zwiększenie wytrzymałości i odporności korozyjnej zapraw cementowych

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji w kilkudziesięciu szybach eksploataowanych na terenie GOP stwierdzono, że najszybciej ulega zniszczeniu zaprawa. Jest to efektem wypłukiwania cząstek zaprawy, jak i korozji, pod wpływem wód agresywnych. Żywotność obudów murowych ceglanych została by znacznie przedłużona, gdyby stosowano zaprawy wysokowytrzymałościowe uodpornione na agresję, głównie siarczanową. Na podstawie prowadzonych badań w IPBKIOF zaleca się stosowanie wysokowytrzymałościowej zaprawy cementowej z wypełniaczem aktywnym.

Skład proponowanej zaprawy powinien być następujący:

- 1) cement portlandzki 350 - 1 cz. wagowa,
- 2) kruszywo aktywne - 3 cz. wagowe.



Rys. 19. Wytrzymałość zaczynu z kruszywem aktywnym w zależności od ilości pyłu dymnicowego

Kruszywo aktywne jest kompozytem piasku z pyłem dymnicowym, który wprowadzony do mieszanki kosztem piasku powoduje w pewnych granicach zwiększenie wytrzymałości zaprawy. Badania przeprowadzone na pyłach dymnicowych Elektrowni w Chorzowie wykazały, że korzystny jest dodatek pyłu w ilości 30-40% w stosunku do ilości piasku w kruszywie.



Wytrzymałość zaczynu z kruszywa aktywnego, w zależności od ilości pyłu dymnicowego, przedstawiono na rys. 19. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zaprawa na kruszywie aktywnym przy przechowywaniu w wodach kopalnianych o agresji siarczanowej osiąga wyższe wytrzymałości o około 20% od zaczynów z kruszywa zwykłego. Dodanie pyłu dymnicowego do zaprawy zwiększa jej odporność na agresję siarczanową, w wyniku zmniejszenia zawartości wolnego wapna w zaprawie. Ponadto zaprawa tak sporządzona wykazuje mniejszą nasiąkliwość. Dalsze zmniejszenie nasiąkliwości zaprawy można uzyskać przez jej hydrofobizację.

Dla hydrofobizacji zaprawy cementowej proponuje się dodatek do wody zarobowej w postaci ahydrosilu sodowego lub potasowego w ilości 0,5%. Prace prowadzone w IPBK i OP Politechniki Śląskiej wykazały przy takim dodatku przyspieszenie czasu wiązania o 20-30% w stosunku do zaprawy cementowej bez dodatku oraz zwiększenie wytrzymałości na ściskanie o około 10%.

### 5.1.2. Rekonstrukcja obudowy betonowej

Uzupełnienie skorodowanych partii obudowy betonowej powinno być poprzedzone właściwym przygotowaniem powierzchni istniejącej obudowy, jak również masy betonowej przeznaczonej do wykonania uzupełnienia. Powierzchnia kontaktowa pomiędzy starym i nowym betonem będzie stanowiła miejsce najslabsze w obudowie. W literaturze znany jest szereg przykładów nieskutecznych zabezpieczeń, polegających na uzupełnieniu zniszczonych miejsc konstrukcji świeżym betonem, ze względu na małą przyczepność pomiędzy świeżym i starym betonem oraz ze względu na skurcz masy betonowej w czasie procesu wiązania i twardnienia. Sytuację pogarszają drgania mechaniczne, które w przypadku szybu pochodzą z ruchu naczyń wyciągowych i są przenoszone na obudowę poprzez zamocowane w niej dźwigary. Drgania te wywołują w płaszczyźnie kontaktowej betonów mikrospeknięcia, których zasięg powiększa się w miarę upływu czasu. Grozi to opadnięciem bloku betonowego do szybu, co może stanowić poważne zagrożenie dla ruchu. W związku z powyższym proponuje się przyjąć następujące wytyczne odnośnie do zabezpieczenia i uzupełnienia obudowy betonowej.

1. Stosowanie warstwy kontaktowej między starym a świeżym betonem obudowy. Po dokładnym usunięciu skorodowanego betonu, oczyszczoną powierzchnię obudowy należy pokryć warstwą kontaktową przez natrysk powłokowy preparatem o nazwie "Osolan K-0", produkowanym w Zakładach Chemicznych w Oświęcimiu. Badania przyczepności warstwy świeżego betonu do starego, przy zastosowaniu preparatu "Osolan K-0", wykazały zwiększenie przyczepności o około 60% w stosunku do betonów bez parametrów. Zaleca się przy wilgotnym badaniu jednokrotne jego pokrycie warstwą preparatu kontaktowego, natomiast przy suchych powierzchniach pokrycie dwukrotne.

2. Uzupełnienie ubytków obudowy betonowej przy zastosowaniu betonu natryskowego z dodatkami uszczelniającymi. Przy wykonywaniu uzupełnień obudowy betonowej, należy wziąć pod uwagę możliwość ponownej korozji betonu w miejscach przepływu agresywnych wód. W związku z powyższym do masy betonowej należy zastosować dodatek uszczelniający "Osolan K-O", w ilości 1,5-3% w stosunku do wagi cementu. Jak wykazały badania, dodatek preparatu, oprócz działania uszczelniającego, wpływa również na podwyższenie wytrzymałości betonu o około 30%. Uzupełnienie ubytków obudowy należy wykonać przy zastosowaniu betonu natryskowego ze zbrojeniem siatkowym lub drutem.
3. Kotwienie uzupełnianych odcinków obudowy. Mając na uwadze całkowitą likwidację zagrożeń dla ruchu szybu, przy ewentualnym oderwaniu się bloku betonu stanowiącego uzupełnienie ubytków obudowy (np. wskutek małej przyczepności betonu świeżego do betonu obudowy, skurczu w czasie wiązania betonu oraz głównie rozwoju mikroszczelin przy długotrwałym oddziaływaniu drgań mechanicznych na obudowę), należy przeprowadzić kotwienie w miejscach uzupełnień, przy zastosowaniu krótkich kotew stalowych, mocowanych na zaprawie cementowej.

#### 5.1.3. Zabezpieczenie powierzchni obudowy

Zabezpieczenie obudowy przed dalszą korozją i łuszczeniem można osiągnąć przez możliwie maksymalne osuszenie obmurza obudowy oraz jego izolację od wpływów atmosferycznych. Zabiegi zabezpieczające dotyczą utrzymania właściwego systemu drenażu i wychwytywania wody ściekającej z obudowy. W celu wychwytywania wody ściekającej po obudowie i wyciekającej z obudowy zaleca się założenie w obudowie sączków odwadniających, wykonanych z rur perforowanych o średnicy  $\phi 650$  mm, umieszczonych w skałach za obudową na głębokość 1 m. Odsączona woda następnie zostaje uchwycona w system rynien i skierowana do rurociągu odwadniającego. Dla zabezpieczenia powierzchni obudowy przed postępującym złuszczeniem, celowe jest wykonanie natrysku hydrofobowego powierzchni obmurza. Natrysk taki powinien być przeprowadzony w miejscach zawilgoceń obudowy przez wody ściekające. Do celów hydrofobizacji obudowy proponuje się stosowanie preparatu silikonowego "Silema".

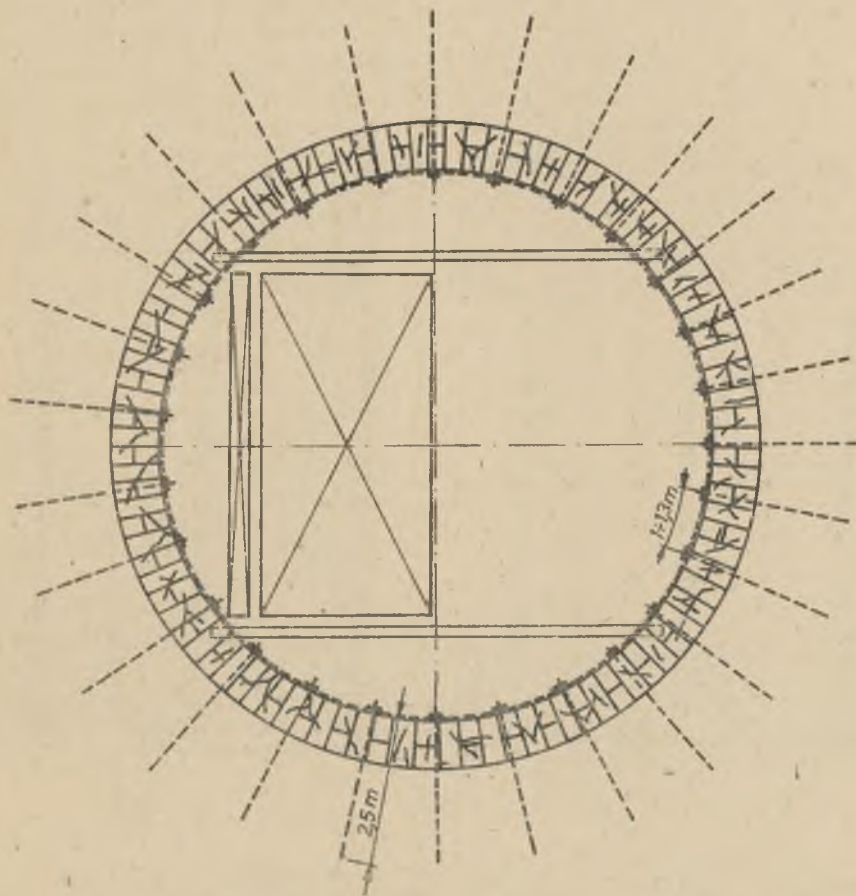
Dodatkowym efektem stosowania hydrofobizacji obudowy jest ograniczenie zlodowacenia obudowy w porze zimowej. Hydrofobizację obudowy uzyskuje się również przez zastosowanie natrysku izolacyjnego wodnym roztworem ahydrosilu sodowego lub potasowego w ilości - 1 cz. wagowa ahydrosilu na 30 części wagowych wody. Zabieg natrysku izolacyjnego na powierzchnię obudowy wykonuje się po uprzednim jej oczyszczeniu z materiału skorodowanego. Ułożenie warstw natrysku izolacyjnego odbywać się może przy zastosowaniu powszechnie dostępnych urządzeń natryskowych, np. pistoletów malarskich itp.

## 5.2. Dodatkowe wzmocnienie rury szybowej

W niektórych przypadkach lokalna wymiana obudowy (lub jej uzupełnienie) jest niewystarczające jako zabezpieczenie odcinka szybu. W takich wypadkach konieczne jest dodatkowe zwiększenie wytrzymałości konstrukcji, co uzyskuje się przez kotwienie obudowy lub wykonanie dodatkowej powłoki obmurza.

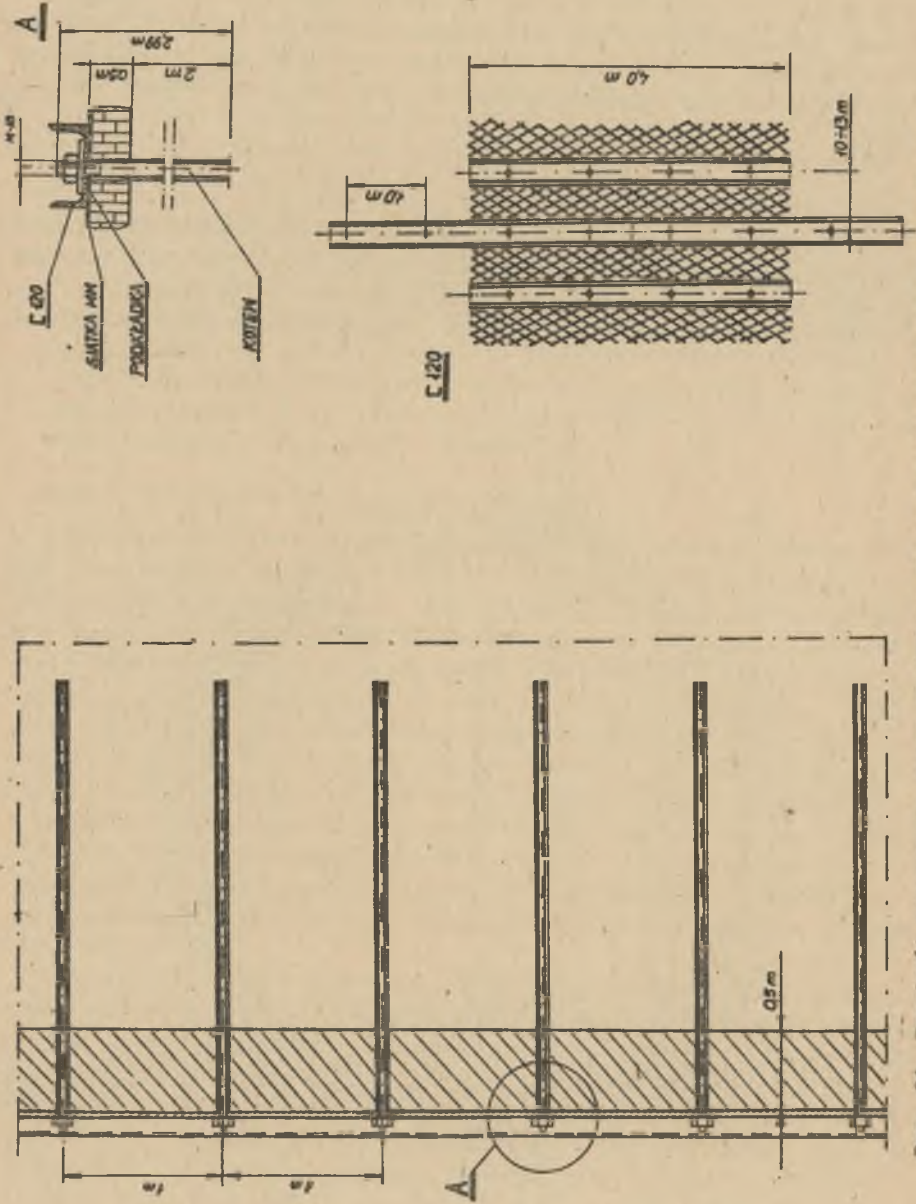
### 5.2.1. Kotwienie obudowy

W przypadku występowania skał zwięzłych za obudową, dodatkowe zwiększenie wytrzymałości obudowy uzyskuje się przez jej kotwienie, przy zastosowaniu długich kotew stalowych mocowanych w górotworze. Na rys. 20 i 21 przedstawiono zastosowany w KWK Barbara - Chorzów sposób wzmocnienia obu-



Rys. 20. Przekrój poprzeczny szybu z podaniem rozmieszczenia kotwi





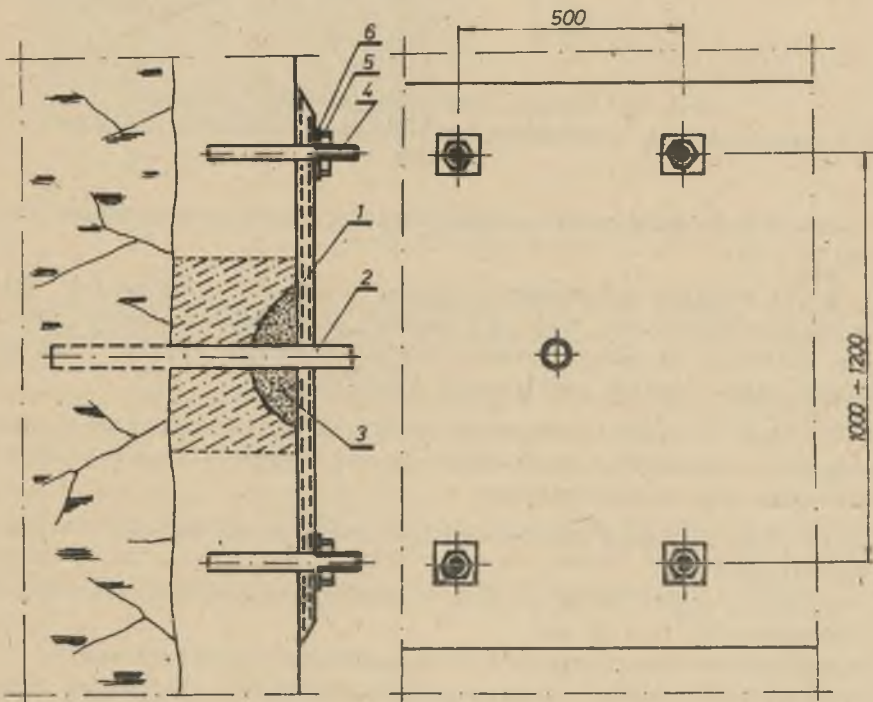
Rys. 21. Przekrój poprzeczny przez skotwioną obudowę szybu oraz układ ceowników

dowy takimi kotwiami. Zastosowane kotwie o długości 2 m i średnicy 16-18 mm łączono spoiwem cementowym. Kotwy zostały rozmieszczone w odstępach co 1,3 m po obwodzie szybu i co 1,3 m odległości w rzędach pionowych. Jako spoiwo stosowano zaprawę cementową o konsystencji plastycznej i stosunku  $c : w = 0,33$  oraz udziale objętościowym cementu do piasku  $c : p = 1 : 3$ , z cementu marki 450. Sposób ten miał również na celu wzmocnienie górotworu otaczającego wyrobisko.

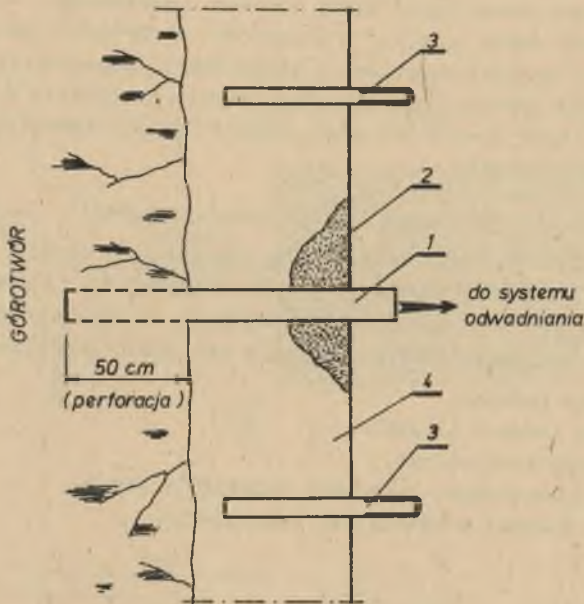
### 5.2.2. Wykonanie dodatkowej powłoki siatkobetonowej

W przypadku występowania dużych pasm skorodowanej obudowy celowe jest wykonanie powłoki siatkobetonowej, przytwierdzonej do obudowy krótkimi kotwiami stalowymi, szczerkowymi lub klejonymi. W celu wykonania takiego zabezpieczenia konieczna jest następująca kolejność prowadzenia robót:

- 1) przygotowanie podłoża,
- 2) zamentowanie kotew w obudowie,
- 3) ułożenie poszycia z siatki,
- 4) przygotowanie mieszanki betonowej i ułożenie betonu,
- 5) pielęgnacja powłoki w czasie jej twardnienia.



Rys. 22. Sposób zabezpieczenia obudowy powłoką siatkobetonową  
1 - powłoka siatkobetonowa, 2 - rura drenażowa, 3 - ploмба betonowa, 4 - kotew, 5 - śruba, 6 - podkładka



Rys. 23. Wstępny etap zabezpieczenia obudowy

1 - rura drenażowa perforowana, 2 - plomba betonowa, 3 - kotew, 4 - obudowa

Sposób wykonania powłoki siatkobetonowej został przedstawiony na rys. 22, 23 i 24.

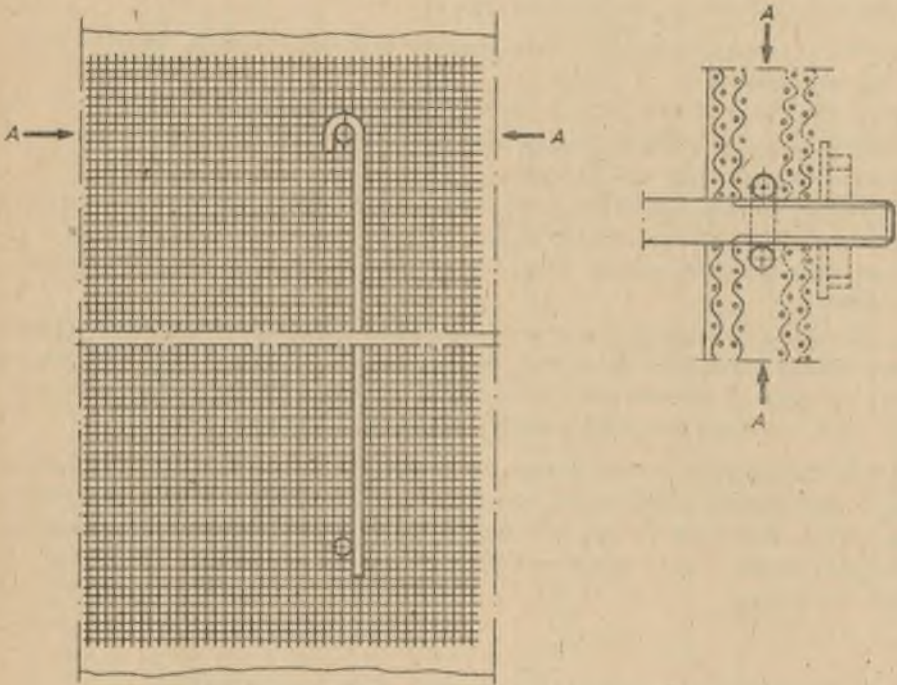
Ad 1) Z miejsc skorodowanych obudowy usuwa się zniszczony materiał aż do zdrowego betonu. Powyżej i poniżej miejsc skorodowanych powierzchnię, do której ma dolegać powłoka siatkobetonowa, należy oczyścić z warstw pyłów i szlamu pochodzącego z wycieków wód.

Ad 2) W odstępach zaznaczonych na rys. 22 należy nawiercić otwory w obudowie i zamocować w nich krótkie kotwie stalowe o długości zamocowania w betonie w granicach 20-25 cm.

Ad 3) Do wykonania powłoki siatkobetonowej można stosować kilka typów siatki, np.:

- siatkę plecioną (tkaną) z drutu o grubości 1,0 mm, siatka ta posiada wymiar oczek 10 x 10 mm,
- siatkę zgrzewaną o grubości drutu o wymiarach oczek jak wyżej,
- siatkę sześciokątną z drutu o grubości 0,8-1,0 mm i wymiarze oczek 12-14 mm.





Rys. 24. Mocowanie zbrojenia siatkobetonowego rozpiętego na kotwiach i prętach drutu zbrojeniowego

Nie należy stosować siatki ocynkowanej, gdyż beton stanowi wystarczające zabezpieczenie antykorozyjne, a powłoka cynkowa stwarza zagrożenie powstania korozji elektrochemicznej.

Układanie zbrojenia przebiega następująco: pierwsze dwie warstwy siatki powinny być mocowane do kotew oraz pręta z drutu zbrojeniowego o średnicy  $\phi = 6-8$  cm, założonego i przymocowanego pionowo do dwóch kotew, jak przedstawiono na rys. 14c. Następnie, z drugiej strony pręta mocowanego są kolejne trzy warstwy siatki. Każda warstwa siatki jest wiązana drutem wiązkowym do prętów zbrojeniowych co 15 cm. Całość zbrojenia należy lekko docisnąć do obudowy przez dokręcenie śrub z podkładkami stalowymi na kotwiach.

Ad 4) Składniki mieszanki betonowej - cement, kruszywo i woda - powinny odpowiadać następującym wymaganiom. Cement powinien być świeży, tzn. użyty w ciągu jednego miesiąca od daty produkcji. Zalecane jest stosowanie cementu portlandzkiego marki 350, kruszywo powinno się składać z czystego piasku wysokiej jakości. Woda powinna być czysta, bez zanieczyszczeń alkalicznych, solami rozpuszczalnymi lub zawiesinami organicznymi.

Zalecane proporcje wagowe składników powinny być następujące:

- a) cement : kruszywo - w granicach 0,4-0,6,
- b) woda : cement w/c w granicach 0,3-0,4.

Należy przyjmować wagę w stanie suchym. Mieszanie betonu powinno odbywać się mechanicznie.

Przy układaniu betonu należy przestrzegać następujących zasad:

- a) temperatura powietrza w czasie betonowania i w okresie następnych siedmiu dni nie powinna być niższa od  $+10^{\circ}$ ,
- b) układanie betonu należy rozpocząć od dolnej części zbrojenia i prowadzić ku górze pasmami o szerokości 30 cm,
- c) mieszankę betonową należy ułożyć i zatrzeć w ciągu 60 minut od wymieszania,
- d) w przypadku betonowania ręcznego układanie betonu należy wykonać przez nakładanie mieszanki betonowej na zbrojenie i ubijanie tak, aby szczelnie dolegał do powierzchni istniejącej obudowy. Warstwa siatki od strony szybu powinna posiadać otulinę betonową o grubości 2 cm.

Ad 5) Pielęgnacja betonu polega na polewaniu zabetonowanej konstrukcji wodą i zapobieganiu wysychaniu (nawet powierzchniowego) betonu. Polewanie wodą należy rozpocząć po około 6 godzinach od ułożenia betonu i prowadzić cyklicznie przez 7 dni. Przez następne 21 dni należy beton utrzymywać w stanie wilgotnym.

### 5.3. Wypełnienie pustek między obudowa szybu a górotworem

Wypełnienie pustek występujących za obudową szybu ma na celu lepsze rozparcie obudowy szybu o obrys wyrobiska. Spowoduje to równomierny rozkład ciśnienia górotworu na obudowę i ograniczy kształtowanie się niekorzystnych momentów zginających i naprężeń rozciągających w obudowie.

Na podstawie prowadzonych badań w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni proponuje się stosowanie kompozytu wypełniającego, którego receptura została podana w tablicy 20. Podstawowymi składnikami kompozytu są: cement portlandzki marki 350 oraz pył dymnicowy, uzyskiwany jako produkt odpadowy z elektrofiltrów powstających w wyniku spiekania węgla energetycznego w paleniskach rusztowych elektrowni. Środkiem modyfikującym, przyspieszającym czas wiązania kompozytu jest jednoamonowy fosforan potasowy  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , który dodaje się w ilości 3% w stosunku do masy składników suchych. Dodatek pyłów dymnicowych jest celowy ze względu na uodpornienie kompozytu w warunkach działania wód agresywnych. Jak wykazały badania prowadzone w IPBK i OP, kompozyty pyłowo-cementowe modyfikowane fosforanem potasowym osiągają w wodach kopalnianych wytrzymałości średnio 20% wyższe od czystych zaczynów cementowych. Zestawienie materiałów w celu wypełnienia 1 m<sup>3</sup> pustki przedstawia się następująco:

Receptura opracowanego w IPBK10P kompozytu wypełniającego - opartego na piasku dymnicowych elektrowni Chorzów

Nr	% zawartości cementu portlandzkiego 350	% zawartości piasku dymnicowego	% dodatku $\text{MH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ w stosunku do cementu i piasku	Początek wiązania min	Koniec wiązania min	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	Ciepłota wiązaliwy $\text{KN/m}^3$
1	70	30	3	85	300	180	16,2
2	60	40	3	70	95	150	16,0
3	50	50	3	75	115	130	15,77

Receptura opracowanego w IPBK10P kompozytu wypełniającego - opartego na piasku dymnicowych elektrowni Chorzów

Nr	Skład spoiwa %			Stosunek wody do spoiwa	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $R_c 28$ $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	Wytrzymałość na ściskanie po 60 dniach $R_c 60$ $\times 10^5 \text{ N/m}^2$	Czas wiązania godz		Czas wiązania z przyspieszeniem godz	
	C	W	P				Początek	Koniec	Początek	Koniec
1	35	30	30	0,64	85,4	139,0	17,50	34,20	2,45	8,25
2	40	20	40	0,63	101,4	151,7	15,25	28,50	2,30	7,40
4	45	10	45	0,61	131,9	167,2	15,50	34,00	2,10	4,40



I. Składniki suche:

- 1) cement portlandzki 350 - 540 kg,
- 2) pył dymnicowy - 360 kg.

II. Woda i dodatki do wody zarobowej:

- 1) woda - 495 l,
- 2) jednoamonowy fosforan potasu - 27 kg.

Technologia wypełniania przestrzeni za obudową szybu powinna przebiegać z uwzględnieniem następujących warunków.

W etapie wstępnym należy dokładnie wymieszać ze sobą składniki suche, tj. cement portlandzki i pył dymnicowy oraz przygotować ciecz zarobową przez rozpuszczenie w wodzie właściwej ilości jednoamonowego fosforanu potasowego. Po mechanicznym zmieszaniu składników suchych z cieczą zarobową i uzyskaniu ciekłej konsystencji zaczynu (średnica rozlewności = 160 wg PN-62/6731-07) można przystąpić do jego wtlaczania za obudowę, przy zastosowaniu pompy cementacyjnej lub grawitacyjnie. Zaczyn należy wtlaczać przez uprzednio wywiercone w obudowie otwory przy utrzymaniu maksymalnego ciśnienia wtlaczania, nie przekraczającego 2 atm. Otwory należy rozmieścić w ten sposób, aby pionowa odległość pomiędzy kolejnymi otworami wynosiła w granicach 1,0-1,5 m. Zabieg wypełnienia pustej przestrzeni powinno się rozpocząć od otworu położonego najniżej i prowadzić w kierunku ku górze przez kolejne, wyżej położone otwory.

W IPBKiOP Politechniki Śląskiej opracowano również inną recepturę kompozytu wypełniającego, którą przedstawiono w tablicy 21. W celu wykonania kompozytu wypełniającego użyto pyłu dymnicowego Elektrowni Łągisza. Spoiwo wg receptury nr 2, po zamieszaniu z piaskiem w stosunku 1:3 i zarobieniu wodą, zapewnia uzyskanie materiału o wytrzymałości  $R_c 28 = 101 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> i  $R_c 60 = 151,7 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup>. Pył dymnicowy Elektrowni Łągisza powoduje w tym przypadku wydłużenie procesu twardnienia materiału. Wytrzymałość końcową materiał uzyskuje po okresie ok. 60 dni. Ze względu na bardzo długi czas twardnienia materiału proponuje się stosowanie dodatku przyspieszającego czas wiązania spoiwa w postaci fosforanu jednoamonowego  $NH_4H_2PO_4$  w ilości 3% w stosunku do ilości spoiwa. Technologia wypełniania przy tej recepturze jest podobna, jak w przypadku wcześniej podanej receptury.

#### 5.4. Wykorzystanie przedstawionych zabezpieczeń obudów w szybach na terenie GOP

Przedstawione powyżej sposoby zabezpieczenia obudów szybowych nie wyczerpują wszystkich technologii napraw i zabezpieczeń. Omawiane sposoby gwarantują jednak poprawę stanu technicznego obudów szybowych i są pewnym rozwiązaniem problemu zabezpieczenia obudów pracujących w trudnych warunkach górniczo-geologicznych. W tablicy 22 przedstawiono sposoby zabezpie-

Tablica 22

Zestawienie sposobów zabezpieczenia obudowy oraz czynników powodujących uszkodzenie obudowy niektórych szybów z rejonu GOP

Lp.	Nazwa szybu i kopalni	Sposób zabezpieczenia obudowy szybowej	Czynnik powodujący uszkodzenie obudowy
1	2	3	4
1	Wyzwolenie I KWK Barbara- Chorzów	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prowadzenie uzupełnień i wymiany obudowy przy zastosowaniu cegieł o wysokich parametrach wytrzymałościowych.</li> <li>2. Zabezpieczenie obudowy przed korozją i łuszczeniem przez utrzymanie właściwego systemu drenażu i wychwytywanie wody z zaobudowy</li> <li>3. Wykonanie natrysku hydrofobowego</li> </ol>	<p>duża agresywność wody</p> <p>duże zawilgoce nie obudowy</p>
2	S-II KWK Siemianowice	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wymiana całkowita lub częściowa obudowy w miejscach skorodowanych</li> <li>2. Hydrofobizacja cegieł</li> <li>3. Stosowanie dodatków do zapraw murarskich</li> <li>4. Wykonanie natrysku silikonowego.</li> <li>5. Kotwienie obudowy</li> </ol>	<p>duża agresywność wody</p>
3	Wit Stwosz KWK Powstańców Śl.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lokalna wymiana obudowy</li> </ol>	<p>wpływy eksploatacji pochodzące od starych zrobów</p>
4	Józef KWK Bobrek	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>	<p>prawdopodobny wpływ eksploatacji</p>
5	Mieczysław KWK Pstrowski	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utrzymanie w stałej drożności sączków wychwytyjących spływającą wodę.</li> <li>2. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>	<p>duże zawilgoce nie obudowy, wpływ prowadzonej eksploatacji</p>
6	Szyb VII KWK Polska	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zastosowanie w szybie skutecznego systemu rynienek ściekowych.</li> <li>2. Prowadzenie koniecznych remontów i napraw obudowy ze względu na duże współczynniki deformacji górotworu</li> </ol>	<p>wpływ prowadzonej eksploatacji w filarze ochronnym szybu</p>
7	Anna KWK Sosnowiec	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hydrofobizacja obudowy.</li> <li>2. Założenie sączków odwadniających.</li> <li>3. Wymiana i naprawa zniszczonej części obudowy</li> </ol>	<p>duże zawilgoce nie obudowy, silna agresywność wody</p>

1	2	3	4
8	Wyzwolenie II KWK Barbara Chorzów	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wypełnienie pustek występujących w obudowie,</li> <li>2. Zastosowanie kotwienia obudowy w celu jej wzmocnienia</li> </ol>	pustki za obudową szybową, duża agresywność wody
9	Jadwiga KWK Czerwone Zagłębie	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utrzymanie właściwego systemu drenażu i wychwytywanie wody wyciekającej z obudowy.</li> <li>2. Hydrofobizacja obudowy.</li> <li>3. Wypełnienie pustek za obudową.</li> <li>4. Wymiana obudowy w miejscach o zmniejszonej wytrzymałości</li> </ol>	występowanie pustek za obudową
10	Bończuk KWK Rozbark	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wymiana obudowy w rejonach występowania korozyjnych ubytków obudowy.</li> <li>2. Wzmocnienie obudowy w rejonie pionowego podkucia obudowy</li> </ol>	duża agresywność wody
11	Julian II KWK Julian	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wykonanie otworów drenażowych.</li> <li>2. Wypełnienie pustek za obudową szybu.</li> <li>3. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>	występowanie pustek za obudową
12	Jan II KWK Dębieńsko	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hydrofobizacja obudowy</li> <li>2. Częściowa wymiana obudowy</li> </ol>	agresja siarczanowa, eksploatacja w filarze ochronnym
13	Szyb II KWK Gliwice	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Naprawa i częściowa wymiana obudowy.</li> <li>2. Obserwacja obudowy w rejonie pęknięcia. W przypadku dalszej propagacji szczeliny - istnieje konieczność opracowania projektu zabezpieczenia szybu w tym rejonie</li> </ol>	
14	Szymon KWK Halemba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opracowanie projektu przebudowy części obudowy szybu.</li> <li>2. Przeprowadzenie kolejnych badań po okresie 5 lat</li> </ol>	agresja siarczanowa, eksploatacja w pobliżu szybu
15	Reymont KWK Andaluzja	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wypełnienie pustek za obudową.</li> <li>2. Wymiana skorodowanej części obudowy</li> </ol>	występowanie pustek za obudową
16	Czułów II KWK Murcki	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Odwodnienie górotworu w rejonie szybu.</li> <li>2. Zabezpieczenie rury szybowej przed wpływami eksploatacji</li> </ol>	eksploatacja w filarze ochronnym szybu
17	Grunwald II KWK Halemba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. W przypadku prowadzenia eksploatacji w rejonie filara ochronnego szybu opracowanie odpowiedniego projektu eksploatacji w tym rejonie z punktu widzenia minimalizacji wpływów na rurę szybową</li> </ol>	eksploatacja w pobliżu szybu, agresja siarczanowa



1	2	3	4
18	Szczepan KWK Sosnowiec	1. Kotwienie obudowy. 2. Założenie sączków w miejscach wycieku wody. 3. Zabezpieczenie zniszczonej części obudowy przy pomocy siatkobetonu	silna agresywność siarczanowa wody
19	Sosnowiec KWK Sosnowiec	1. Stworzenie lepszego ujęcia wody in-filtrującej przez obudowę. 2. Przeprowadzenie remontu obudowy w miejscach skorodowanych	agresja siarczanowa
20	Bartosz KWK Katowice	1. Wypełnienie pustek za obudową. 2. Opracowanie projektu przebudowy szybu na wyznaczonych odcinkach	agresja siarczanowa, eksploatacja w filarze ochronnym
21	Warszawa KWK Katowice	1. Wykonanie w obudowie szybu otworów penetracyjnych, mających na celu określenie wielkości pustek za obudową, 2. Wzmocnienie obudowy szybu	agresja siarczanowa, eksploatacja w filarze ochronnym szybu

czeń, stosowanych w celu poprawy stanu technicznego obudów szybowych. Odpowiednie wczesne podjęcie prac zabezpieczających w szybie pozwala na znaczne przedłużenie jego okresu eksploatacji, przy zachowaniu pełnej stateczności wyrobiska. Detychczasowa praktyka, w stosowaniu przedstawionych metod zabezpieczeń obudów szybowych wykazała, że najlepsze parametry techniczne i ekonomiczne uzyskuje się przy stosowaniu następujących zabezpieczeń:

- lokalnej wymiany obudowy - przy występowaniu odcinków obudowy murowej ceglanej o obniżonych parametrach wytrzymałościowych,
- hydrofobizacji obudowy - w przypadku znacznego dopływu wód agresywnych do wyrobiska,
- wypełniania pustek za obudową - w przypadku, jeśli występuje niekorzystny rozkład naprężeń wokół rury szybowej,
- stosowania betonu natryskowego - w przypadku występowania odcinków obudowy betonowej o zaniżonych parametrach wytrzymałościowych,
- kotwienie obudowy - w przypadku zniszczenia struktury obudowy, wpływami eksploatacyjnymi,
- stosowania siatkobetonu - w przypadku występowania znacznych ubytków i miejsc o obniżonych parametrach wytrzymałościowych w obudowach betonowych.

Wszystkie omówione metody pozwalają na wykonanie zabezpieczeń w trakcie normalnej eksploatacji szybu.

## LITERATURA

- [1] Janiczek S.: Materiałoznawstwo z chemii dla górników. Skrypty centralne WTS. Gliwice 1977.
- [2] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Część I, Śląsk 1974.
- [3] PN-61/B-06253 - Korozja betonu.
- [4] Strzelecki Z.: Poradnik materiałoznawstwa dla potrzeb budownictwa podziemnego kopalń. Śląsk 1972.
- [5] Brumowski i inni: Budownictwo betonowe, tom VIII. Badanie materiałów, elementów i konstrukcji. Arkady, Warszawa 1970.
- [6] Wehr J.: Pomiar prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych. PWN, Warszawa 1972.
- [7] Ultrasonic testing of concrete. Materiały firmy Teratest (Great Britain LTD).
- [8] Brunorski L., Runkiewicz L.: Instrukcja stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB. Warszawa 1973.
- [9] Strzelecki Z., Machewski M., Witosiński J.: Zastosowanie metod akustycznych (ultradźwiękowych) dla wybranych zagadnień budownictwa górniczego. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej Górnictwo z. 11.1972.
- [10] Majchrzak R.: Zastosowanie metod akustycznych do badania parametrów mechanicznych obudów murowych-betonowych i ceglanych. Gliwice 1979. Praca doktorska nie publikowana.
- [11] Filipczyński L., Pawłowski Z., Wehr J.: Ultradźwiękowe metody badania materiałów. WNT, Warszawa 1963.
- [12] Matuschek J.: Technika ultradźwiękowa. WNT, Warszawa 1961.
- [13] Praca zbiorowa: Les essais sur beton par la methode de L'auscultation dynamique. Annales de L'institut Technique du batiment et des travaux publics. 309-3010/1973.
- [14] Pocztewik C.J., Kaszkin S.K.: Ultrazwukowe izmierenija w bietonnych pokrytijach. Awtemobilnoje dorogi nr 7 - 1962.
- [15] Stenzel, Szymanko: Metody geofizyczne w badaniach ultradźwiękowych. Warszawa 1973.
- [16] Sorokin: Geofizyka poszukiawcza. Wyd. Geofizyczne, Warszawa 1956.
- [17] Garwicz: Badania sejsmiczne. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1958.
- [18] Prace IPBKlOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu VII KWK Polska. Gliwice 1977. Praca nie publikowana.
- [19] Prace IPBKlOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu S-II KWK Siemianowice. Praca nie publikowana.
- [20] Prace IPBKlOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu Wywołanie II KWK Barbara - Chorzów. Praca nie publikowana.

## ZAGADNIENIA OCENY STANU TECHNICZNEGO CZYNNYCH SZYBÓW GÓRNICZYCH ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ

### S t r e s z c z e n i e

W opracowaniu przedstawiono dotychczasowe doświadczenia uzyskane na podstawie prowadzonych badań i analiz stanu technicznego obudów czynnych szybów górniczych zlokalizowanych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Opisano wpływ czynników środowiskowych na stan techniczny obudów szybowych, a zwłaszcza na ich wytrzymałość i grubość. Przedstawiono nieniszczące metody prowadzenia pomiarów doraźnej wytrzymałości na ściskanie materiału obudowy oraz technikę wykonywania pomiarów w szybach.

W ostatnim rozdziale dokonano przeglądu stosowanych dotychczas metod rekonstrukcji i wzmacniania obudów szybowych.



ВОПРОС ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТВолов ШАХТЫ,  
А ТАКЖЕ СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОХРАНЕНИЯ

Р е з ю м е:

В работе представлены приобретенные до сих пор опыты на основании проводимых исследований и анализов технического состояния крепей действующих стволлов шахты, локализованных на территории Верхнесилезского промышленного округа. Описано влияние факторов окружающей среды на техническое состояние крепей стволлов, в особенности, на их прочность и толщину. Представлены неразрушающие методы проведения измерений временного сопротивления на сжатие материала крепи, а также техника проведения измерений в стволлах. В последней главе сделан обзор применяемых до сих пор методов реконструкции и упрочнения крепей стволлов.

THE PROBLEM OF ASSESSING THE TECHNICAL STATE OF THE OPERATING  
SHAFTS AND THE WAYS OF THEIR PRESERVATION

S u m m a r y

The paper presents the experience gained uptill now on the basis of the conducted research and analyses of the shaft linings within the Upper Silesian Industrial Region. The impact of the environment factors on the technical state of the shaft linings, their strength and thickness have been described.

The nondestructive methods for making measurements of immediate compressive strength of the lining material and the technique of these measurements are given.

The last chapter contains the review of the reconstruction methods and reinforcement of the shaft linings applied so far.

**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ  
MOŻNA NABYĆ W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice -- Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b  
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a  
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 83  
40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12  
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10  
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22  
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2  
47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1  
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1  
41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7  
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288  
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN —  
Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.